



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11)



1-0048333

(51)^{2021.01} C03C 8/18; H01L 31/0224; H01B 1/22; (13) B
H01L 21/48; C09D 11/037; C09D 11/52

(21) 1-2022-04313

(22) 11/12/2020

(86) PCT/US2020/064514 11/12/2020

(87) WO 2021/119428 17/06/2021

(30) 62/947,316 12/12/2019 US

(45) 25/07/2025 448

(43) 26/09/2022 414A

(73) BERT THIN FILMS, LLC (US)

625 Myrtle Street, Louisville, KY 40208, United States of America

(72) DHARMADASA, Ruvini (GB); DRUFFEL, Thad (US).

(74) Công ty Luật TNHH T&G (TGVN)

(54) BỘT NHẪO CHO PIN MẶT TRỜI, PIN MẶT TRỜI VÀ PHƯƠNG PHÁP SẢN XUẤT PIN MẶT TRỜI

(21) 1-2022-04313

(57) Sáng chế đề cập đến bột nhão (32) để sử dụng trong mạ kim loại pin mặt trời (12) bao gồm chất mang hữu cơ (44) và hỗn hợp của các hạt chứa đồng (46), các hạt nano chứa oxit kim loại (50), và hạt oxit thứ cấp (52) khác với các hạt nano chứa oxit kim loại (50). Hạt oxit thứ cấp (52) bao gồm các hạt (42) oxit kim loại và kim loại của của oxit kim loại có khả năng khử ít nhất một số các hạt nano chứa oxit kim loại (50) thành kim loại khi được gia nhiệt. Chất mang hữu cơ (44) có khả năng khử oxit kim loại của hạt oxit thứ cấp (52) khi phân hủy chất mang hữu cơ (44). Sáng chế cũng đề cập đến bột nhão (32) bao gồm hỗn hợp của các hạt (42) bao gồm các hạt đồng kim loại (46), hạt nano (50), và hạt oxit kim loại (52) trong chất mang hữu cơ (44). Hạt nano (50) bao gồm ít nhất một oxit của niken, đồng, coban, mangan, và chì. Oxit kim loại của hạt oxit kim loại (52) có năng lượng tự do Gibbs của sự tạo thành âm hơn so với oxit kim loại của ít nhất một oxit của hạt nano (50).

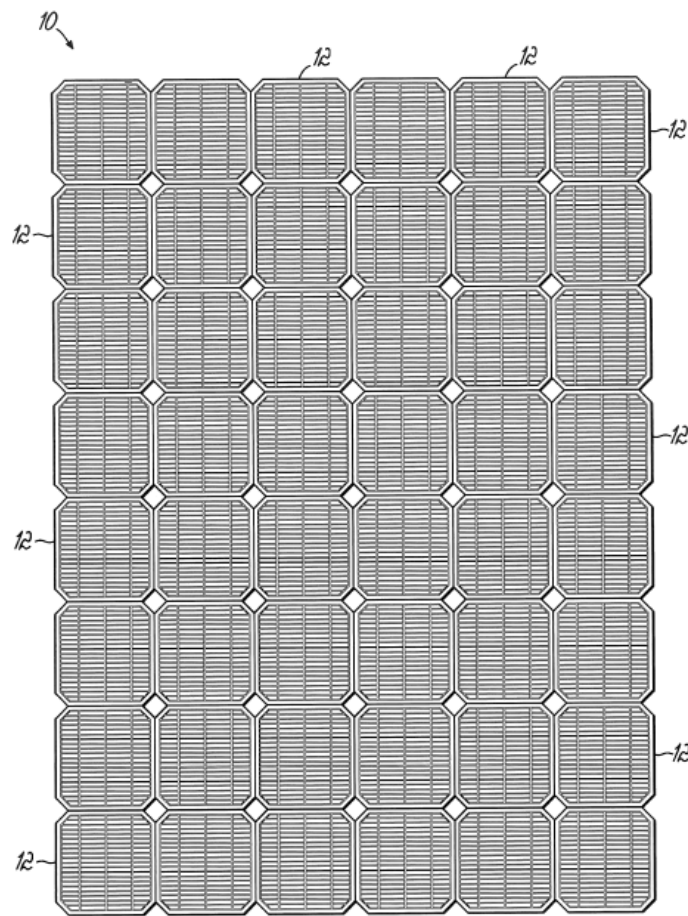


FIG. 1

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế nói chung đề cập đến phương pháp sản xuất tấm pin mặt trời và chế phẩm bột nhão để sử dụng trong sản xuất các bộ phận của tấm pin mặt trời, và cụ thể hơn bột nhão chứa kim loại, pin mặt trời được làm từ bột nhão này, và phương pháp tạo ra và sử dụng bột nhão này trong sản xuất tấm pin năng lượng mặt trời.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Ngành công nghiệp năng lượng mặt trời đã chứng kiến sự phát triển vượt bậc, mức tăng trung bình hàng năm trong thập kỷ trước là khoảng 29%. Công suất sản xuất tấm pin mặt trời đạt khoảng 150 gigawatt vào năm 2018. Ngành công nghiệp này chủ yếu là pin mặt trời silic tinh thể với khoảng 95% dung lượng thị trường là các tấm pin mặt trời silic tinh thể. Tuy nhiên, bất chấp sự tăng trưởng, giá cả cạnh tranh đã khiến giá thị trường của tấm pin mặt trời giảm 80%. Kết quả là tỷ suất lợi nhuận đã bị thu hẹp đáng kể.

Trong khi được làm chủ yếu bằng silic, tấm pin mặt trời có nhiều cấu trúc khác mà nhờ đó ánh sáng mặt trời được chuyển hóa thành điện năng. Tấm tấm pin mặt trời được cấu tạo từ các pin mặt trời thường được kết nối nối tiếp bằng cách sử dụng dây/dải cán phẳng và được bọc kín giữa tấm thủy tinh phía trước và tấm sau. Mỗi pin mặt trời bao gồm phiến silic được pha tạp để tạo ra lớp chuyển tiếp p-n. Khi tiếp xúc với ánh sáng mặt trời, điện trường tại lớp chuyển tiếp p-n tách các hạt mang điện (tức là electron và lỗ trống). Bằng cách này, dòng điện được tạo ra.

Các cấu trúc khác của tấm pin mặt trời có thể bao gồm lớp phủ chống phản xạ (ví dụ silic nitrua (SiN) và titan dioxit (TiO_2)) trên mặt trước hoặc mặt tiếp xúc với ánh sáng của phiến silic được pha tạp. Lớp phủ làm giảm phản xạ ánh sáng từ pin và do đó cải thiện hiệu quả của pin. Các hạt mang điện được tạo ra trong quá trình tiếp xúc với ánh sáng được thu thập bằng các tiếp điểm dẫn điện ở mặt trước và mặt sau của mỗi pin. Các tiếp điểm dẫn điện thường được định vị trên mặt trước theo các đường rộng từ 15 μm đến 200 μm và cách nhau mỗi 0,7 mm đến 5 mm. Mỗi đường có thể được gọi là “ngón tay”. Khoảng cách

và độ rộng riêng biệt của các ngón tay cho phép ánh sáng mặt trời chiếu vào các diện tích bề mặt lớn của silic được pha tạp. Tiếp điểm dẫn điện ở mặt sau không cần phải trong suốt. Thường thì một lớp kim loại mỏng, chẳng hạn như nhôm, tạo thành mặt sau của tế bào. Các kết nối dẫn điện bổ sung, chẳng hạn như thanh góp, rộng từ 0,1 mm đến 2 mm và làm bằng bạc, được ghép điện với các ngón tay và nhôm ở mặt sau. Mặc dù không giới hạn ở số lượng cụ thể bất kỳ, nhưng số lượng thanh góp có thể từ 2 đến 8 và có thể được thay thế bằng các cấu hình khác và thậm chí thiết kế không phải thanh góp.

Ngón tay và thanh góp trên pin mặt trời silic hiện nay gần như đều bằng bạc (Ag). Với nhu cầu gia tăng và tỷ suất lợi nhuận giảm mạnh, các nhà sản xuất đã giảm thiểu việc sử dụng bạc. Việc giảm thiểu đó đã được thực hiện thông qua những cải tiến đối với công thức bột nhão và tối ưu hóa quy trình in bột nhão. Một phương pháp để giảm chi phí là giảm chiều rộng của mỗi ngón tay bạc. Chỉ riêng điều này đã khiến lượng bạc tiêu thụ giảm 50%. Mặc dù có thể giảm thêm, nhưng có giới hạn dưới, mà dưới đó thì cả hiệu suất thiết bị và năng suất sản xuất đều không thể chấp nhận được. Khi các nhà sản xuất hạ giới hạn dưới của việc sử dụng bạc để giảm chi phí, thì các giải pháp thay thế bạc ít tốn kém hơn đang được nghiên cứu.

Đồng là một giải pháp thay thế lý tưởng cho bạc. Đồng rẻ hơn đáng kể trong khi có độ dẫn điện tương đương. Tuy nhiên, có một nhược điểm là đồng làm hư hại pin mặt trời nhanh chóng, và do đó, việc sử dụng đồng làm phức tạp thêm quá trình sản xuất. Để giải quyết sự hư hại này, đặc biệt là sự khuếch tán của đồng vào silic, các kỹ thuật khác nhau có thể được sử dụng để lắng phủ đồng trên silic. Một kỹ thuật là mạ điện. Mặc dù nhìn chung là thành công, nhưng việc mạ điện đòi hỏi thiết bị mới hơn và quá trình xử lý bổ sung ngoài các kỹ thuật in lụa bột nhão bạc hiện tại. Vì cần phải đầu tư vốn đáng kể để sử dụng phương pháp mạ điện đồng, nó đã không được ngành công nghiệp chấp nhận. Có những nhược điểm bổ sung.

Đồng được mạ điện yêu cầu áp dụng một lớp chặn khuếch tán trên silic trước khi lắng phủ đồng. Sau đó, đồng được mạ điện qua lớp chặn đó. Lớp chặn khuếch tán theo đó tách đồng ra khỏi silic. Trong quá trình sử dụng pin mặt trời, đồng bị lớp chặn ngăn không cho khuếch tán vào silic. Một vấn đề khác là, không giống như bạc, đồng rất dễ bị oxy hóa.

Sau khi bị oxy hóa, cả độ bám dính của đồng với lớp chặn khuếch tán và khả năng hàn đều bị ảnh hưởng tiêu cực. Khi đó, việc hàn các kết nối điện khác với các ngón tay có vấn đề. Để giảm thiểu quá trình oxy hóa, một lớp lót mặt bằng thiếc hoặc bạc được phủ lên trên đồng. Cấu trúc nhiều lớp phức tạp này đòi hỏi chi tiêu vốn đáng kể và nhiều quá trình lắng phủ riêng biệt. Các lớp và quy trình bổ sung này sẽ vô hiệu hóa mọi lợi ích về chi phí vật liệu khi sử dụng đồng. Ngoài ra, bề mặt cũng đặt ra các vấn đề về môi trường, sức khỏe và an toàn. Cuối cùng, việc tiết kiệm chi phí nguyên liệu để sử dụng đồng bị lu mờ bởi chi phí vốn và chi phí sản xuất cao.

Để giải quyết những vấn đề này và những vấn đề khác, điều cần thiết trong lĩnh vực này là thay thế bạc trong các tấm pin mặt trời. Đặc biệt hơn, các nhà sản xuất tìm kiếm giải pháp cho các vấn đề đặt ra bằng cách sử dụng đồng thay cho bạc.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Sáng chế khắc phục được những thiếu sót và nhược điểm đã nêu ở trên cũng như những thiếu sót và nhược điểm khác của các tấm pin mặt trời, bột nhão và các phương pháp sản xuất chúng. Mặc dù sáng chế sẽ được mô tả liên quan đến các phương án nhất định, nhưng sẽ được hiểu rằng sáng chế không bị giới hạn ở các phương án này. Ngược lại, sáng chế bao gồm tất cả các lựa chọn thay thế, cải biến và tương đương có thể được bao gồm trong ý tưởng và phạm vi của sáng chế.

Phù hợp với các nguyên tắc của sáng chế, bột nhão để sử dụng trong quá trình mạ kim loại pin mặt trời bao gồm chất mang hữu cơ và hỗn hợp các hạt chứa đồng, các hạt nano chứa oxit kim loại và các hạt oxit thứ cấp khác với các hạt nano chứa oxit kim loại trong chất mang hữu cơ này. Các hạt oxit thứ cấp bao gồm các hạt oxit kim loại và kim loại của oxit kim loại có khả năng khử ít nhất một số các hạt nano chứa oxit kim loại thành kim loại khi bột nhão được gia nhiệt đến nhiệt độ tại đó chất mang hữu cơ phân hủy.

Theo một phương án, chất mang hữu cơ có khả năng khử oxit kim loại của hạt oxit thứ cấp khi phân hủy chất mang hữu cơ.

Theo một phương án, chất mang hữu cơ bao gồm polyvinylpyrrolidon.

Theo một phương án, hạt oxit thứ cấp bao gồm hạt thủy tinh frit.

Theo một phương án, các hạt chứa đồng bao gồm các hạt đồng kim loại hoặc các hạt hợp kim đồng.

Theo một phương án, các hạt đồng kim loại có ít nhất một kim loại niken, coban, hoặc mangan trên bề mặt của các hạt đồng kim loại hoặc trên bề mặt của các hạt hợp kim đồng.

Theo một phương án, ít nhất một kim loại niken, coban, hoặc mangan là ở dạng hạt kim loại trên bề mặt của các hạt đồng kim loại hoặc trên bề mặt của các hạt hợp kim đồng.

Theo một phương án, ít nhất một kim loại niken, coban, hoặc mangan là ở dạng hạt oxit kim loại trên bề mặt của các hạt đồng kim loại hoặc trên bề mặt của các hạt hợp kim đồng.

Theo một phương án, các hạt đồng kim loại hoặc các hạt hợp kim đồng và/hoặc ít nhất một kim loại được pha tạp với ít nhất là phospho.

Theo một phương án, bề mặt của các hạt đồng kim loại hoặc bề mặt của các hạt hợp kim đồng không được bao phủ hoàn toàn bởi ít nhất một kim loại.

Theo một phương án, ít nhất một kim loại bao phủ ít nhất là một phần bề mặt của các hạt đồng kim loại hoặc bao phủ ít nhất là một phần bề mặt của các hạt hợp kim đồng.

Theo một phương án, oxit kim loại của hạt oxit thứ cấp là oxit antimon.

Theo một phương án, hạt nano chứa oxit kim loại bao gồm ít nhất một oxit niken, đồng, coban, mangan, và chì.

Theo một phương án, các hạt nano chứa oxit kim loại bao gồm oxit của niken và chì.

Theo một phương án, oxit kim loại của hạt oxit thứ cấp bao gồm oxit antimon.

Theo một phương án, các hạt nano chứa oxit kim loại bao gồm oxit của niken, đồng, và chì.

Theo một phương án, bột nhão không chứa bạc.

Theo một phương án, tỷ lệ của hạt oxit thứ cấp và các hạt nano chứa oxit kim loại trong khoảng từ 0,50 đến 16,96 khối lượng.

Theo một phương án, tỷ lệ của hạt oxit thứ cấp và các hạt nano chứa oxit kim loại trong khoảng từ 1,50 đến 3,51 khối lượng.

Theo một phương án, ít nhất một kim loại niken, coban, và mangan là ở dạng hạt kim loại trên bề mặt của các hạt chứa đồng và các hạt chứa đồng với hạt kim loại có diện tích bề mặt trong khoảng từ $1 \text{ m}^2/\text{g}$ đến $5 \text{ m}^2/\text{g}$.

Theo một phương án, ít nhất một kim loại niken, coban, và mangan là ở dạng hạt kim loại trên bề mặt của các hạt chứa đồng và các hạt chứa đồng với hạt kim loại có diện tích bề mặt trong khoảng từ $0,7 \text{ m}^2/\text{g}$ đến $5 \text{ m}^2/\text{g}$.

Theo một phương án, các hạt chứa đồng bao gồm hỗn hợp của bột đồng mịn và bột đồng thô.

Theo một phương án, bột đồng mịn được đặc trưng bởi kích thước hạt trung bình trong khoảng từ $1,2 \text{ }\mu\text{m}$ đến $3,2 \text{ }\mu\text{m}$ và bột đồng thô được đặc trưng bởi kích thước hạt trung bình trong khoảng từ $7,53 \text{ }\mu\text{m}$ đến $14,69 \text{ }\mu\text{m}$, $10 \text{ }\mu\text{m}$ đến $20 \text{ }\mu\text{m}$ hoặc $1,75 \text{ }\mu\text{m}$ đến $7,20 \text{ }\mu\text{m}$.

Theo một phương án, chất mang hữu cơ là chất kết dính hữu cơ và dung môi hữu cơ.

Theo một phương án, chất mang hữu cơ còn bao gồm chất cải biến độ nhớt.

Theo một phương án, dung môi hữu cơ là propylen glycol.

Theo một phương án, chất mang hữu cơ còn bao gồm chất kết dính hữu cơ.

Phù hợp với các nguyên tắc của sáng chế, bột nhão bao gồm chất mang hữu cơ, và hỗn hợp của các hạt bao gồm hạt đồng kim loại, hạt nano, và hạt oxit kim loại trong chất mang hữu cơ. Hạt nano bao gồm ít nhất một oxit của niken, đồng, coban, mangan, antimon, telur, bismut, và chì.

Theo một phương án, oxit kim loại của hạt oxit kim loại có năng lượng tự do Gibbs của sự tạo thành âm hơn so với oxit kim loại của ít nhất một oxit của hạt nano.

Theo một phương án, các hạt đồng kim loại tạo nên phần kim loại có thể tích lớn nhất trong bột nhão.

Theo một phương án, hạt nano bao gồm hạt chứa oxit chì.

Theo một phương án, hạt nano là oxit của niken và chì.

Theo một phương án, hạt oxit kim loại bao gồm hạt oxit antimon.

Theo một phương án, hạt nano bao gồm hạt chứa oxit chì và hạt oxit kim loại bao gồm hạt oxit antimon.

Theo một phương án, chất mang hữu cơ có khả năng khử hạt oxit kim loại khi phân hủy chất mang hữu cơ.

Theo một phương án, chất mang hữu cơ bao gồm polyvinylpyrrolidon.

Theo một phương án, hạt oxit kim loại bao gồm hạt thủy tinh frit.

Theo một phương án, các hạt đồng kim loại có ít nhất một kim loại niken, coban, hoặc mangan trên bề mặt của hạt đồng kim loại.

Theo một phương án, ít nhất một kim loại niken, coban, hoặc mangan là ở dạng hạt kim loại trên bề mặt của hạt đồng kim loại.

Theo một phương án, ít nhất một kim loại niken, coban, hoặc mangan là ở dạng hạt oxit kim loại trên bề mặt của hạt đồng kim loại.

Theo một phương án, các hạt đồng kim loại và/hoặc ít nhất một kim loại được pha tạp với ít nhất là phospho.

Theo một phương án, bề mặt của các hạt đồng kim loại không được bao phủ hoàn toàn bởi ít nhất một kim loại.

Theo một phương án, ít nhất một kim loại bao phủ ít nhất là một phần bề mặt của hạt đồng kim loại.

Theo một phương án, hạt oxit kim loại là hạt oxit antimon.

Theo một phương án, hạt nano bao gồm ít nhất một oxit của niken, đồng, coban, mangan, và chì.

Theo một phương án, hạt nano bao gồm oxit của niken và chì.

Theo một phương án, hạt oxit kim loại là hạt oxit antimon.

Theo một phương án, hạt nano bao gồm oxit của niken, đồng, và chì.

Theo một phương án, bột nhão không chứa bạc.

Theo một phương án, tỷ lệ của hạt oxit kim loại và hạt nano trong khoảng từ 0,5 đến 17 khối lượng.

Theo một phương án, tỷ lệ của hạt oxit kim loại và hạt nano trong khoảng từ 1,5 đến 3,5 khối lượng.

Theo một phương án, tỷ lệ của hạt oxit kim loại và hạt nano trong khoảng từ 0,25 đến 20 khối lượng.

Theo một phương án, tỷ lệ của hạt oxit kim loại và hạt nano trong khoảng từ 3 đến 17 khối lượng.

Theo một phương án, hạt nano bao gồm oxit chì và/hoặc hạt chứa chì hydroxit và hạt oxit kim loại bao gồm các hạt oxit antimon.

Theo một phương án, các hạt đồng kim loại được cải biến để bao gồm hạt chứa kim loại trên bề mặt của chúng.

Theo một phương án, các hạt đồng kim loại được cải biến có diện tích bề mặt lớn hơn diện tích bề mặt của các hạt đồng kim loại không cải biến.

Theo một phương án, các hạt đồng kim loại được cải biến có diện tích bề mặt trong khoảng từ 0,7 m²/g đến 5 m²/g.

Theo một phương án, các hạt đồng kim loại được cải biến có diện tích bề mặt trong khoảng từ 1 m²/g đến 5 m²/g.

Theo một phương án, các hạt đồng kim loại bao gồm hỗn hợp của bột đồng mịn và bột đồng thô.

Theo một phương án, bột đồng mịn được đặc trưng bởi kích thước hạt trung bình trong khoảng từ 1,2 µm đến 3,2 µm và bột đồng thô được đặc trưng bởi kích thước hạt trung bình trong khoảng từ 7,53 µm đến 14,69 µm, 10 µm đến 20 µm, hoặc 1,75 µm đến 7,20 µm.

Theo một phương án, chất mang hữu cơ là chất kết dính hữu cơ và dung môi hữu cơ.

Theo một phương án, chất mang hữu cơ còn bao gồm chất cải biến độ nhớt.

Theo một phương án, dung môi hữu cơ là propylen glycol.

Theo một phương án, chất mang hữu cơ còn bao gồm chất kết dính hữu cơ.

Theo một phương án, dung môi hữu cơ là một trong số propylen glycol, dipropylen glycol, và tripropylen glycol, hoặc tổ hợp của chúng.

Theo một phương án, các hạt đồng kim loại bao gồm bột đồng mịn. Theo một phương án, bột đồng mịn được đặc trưng bởi kích thước hạt trung bình trong khoảng từ 1,2 μm đến 3,2 μm .

Phù hợp với các nguyên tắc của sáng chế, bột nhão chủ yếu bao gồm chất mang hữu cơ, và hỗn hợp của hạt đồng kim loại, hạt nano, và hạt oxit kim loại trong chất mang hữu cơ. Hạt nano bao gồm ít nhất một oxit của niken, đồng, coban, mangan, antimon, telua, bismut, và chì.

Phù hợp với các nguyên tắc của sáng chế, bột nhão bao gồm chất mang hữu cơ, và hỗn hợp của hạt đồng kim loại, hạt nano, và hạt oxit kim loại trong chất mang hữu cơ. Hạt nano bao gồm ít nhất một oxit của niken, đồng, coban, mangan, antimon, telua, bismut, và chì.

Phù hợp với các nguyên tắc của sáng chế, pin mặt trời bao gồm nền bán dẫn và ít nhất một bộ phận dẫn chứa đồng trên nền bán dẫn này. Bộ phận dẫn chứa đồng bao gồm nhiều hạt đồng hoặc hợp kim đồng và ít nhất là các phần của ranh giới hạt giữa các hạt liền kề bao gồm ít nhất một trong số chì, đồng, coban, mangan, telua, và bismut và ít nhất một kim loại khác.

Theo một phương án, oxit của ít nhất một kim loại khác có năng lượng tự do Gibbs của sự tạo thành âm hơn oxit chì.

Theo một phương án, ít nhất một kim loại khác là antimon.

Theo một phương án, ít nhất là các phần của ranh giới hạt còn bao gồm niken.

Theo một phương án, bộ phận dẫn chứa đồng và nền bán dẫn gặp nhau tại mặt phân cách và mặt phân cách này bao gồm chì và ít nhất một kim loại khác giữa nền bán dẫn và hạt.

Theo một phương án, mặt phân cách bao gồm silixit kim loại.

Theo một phương án, mặt phân cách còn bao gồm niken.

Theo một phương án, pin mặt trời không chứa bạc.

Theo một phương án, bộ phận dẫn chứa đồng là ngón tay.

Theo một phương án, ngón tay có độ dày trong khoảng từ 10 μm đến 100 μm .

Theo một phương án, pin mặt trời bao gồm lớp phát silic được pha tạp cao, và ngón tay tiếp xúc điện với lớp phát silic này.

Theo một phương án, ngón tay có điện trở suất trong khoảng từ 2 lần đến 10 lần điện trở suất của đồng kim loại dạng khối.

Theo một phương án, bộ phận dẫn là thanh góp.

Theo một phương án, thanh góp có độ dày trong khoảng từ 10 μm đến 100 μm .

Theo một phương án, pin mặt trời bao gồm lớp chống phản xạ trên nền bán dẫn, lớp chống phản xạ này tạo thành bề mặt ngoài của pin mặt trời, và thanh góp được tiếp xúc trực tiếp với lớp chống phản xạ nhưng không tiếp xúc với nền bán dẫn.

Theo một phương án, pin mặt trời còn bao gồm nhiều thanh góp được sắp xếp theo kiểu trong đó các thanh góp này được cách nhau một khoảng cách nhỏ hơn 40 mm.

Theo một phương án, pin mặt trời này không có lớp chặn khuếch tán được lắng phủ riêng rẽ giữa bộ phận dẫn bằng đồng và nền bán dẫn.

Phù hợp với các nguyên tắc của sáng chế, phương pháp chế tạo pin mặt trời bao gồm bước đặt bột nhão lên bề mặt của nền, bột nhão này bao gồm chất mang hữu cơ và hỗn hợp của các hạt bao gồm hạt đồng kim loại, hạt nano, và hạt oxit kim loại trong chất mang hữu cơ này. Hạt nano bao gồm ít nhất một oxit của niken, đồng, coban, mangan, và chì. Bột nhão được gia nhiệt đến nhiệt độ mà tại đó chất mang hữu cơ phân hủy và khử ít nhất một số oxit kim loại thành kim loại.

Theo một phương án, bước gia nhiệt bao gồm gia nhiệt trong không khí.

Theo một phương án, trong khi gia nhiệt, kim loại khử ít nhất một số hạt nano chứa oxit kim loại thành kim loại.

Theo một phương án, nền bao gồm lớp silic nitrua và trong khi gia nhiệt, oxit kim loại và kim loại đã gia nhiệt phản ứng với lớp silic nitrua.

Phù hợp với các nguyên tắc của sáng chế, quy trình cải biến bề mặt của các hạt chứa đồng để sử dụng trong bột nhão bao gồm bước trộn các hạt chứa đồng với ion kim loại trong dung dịch, bổ sung chất khử vào hỗn hợp của các hạt chứa đồng và ion kim loại để khử ion kim loại thành kim loại sao cho kim loại lắng phủ lên bề mặt của các hạt chứa đồng, và tách các hạt chứa đồng đã cải biến bề mặt ra khỏi dung dịch.

Theo một phương án, quy trình này còn bao gồm bước gia nhiệt hỗn hợp của các hạt chứa đồng, ion kim loại, và chất khử.

Theo một phương án, các hạt chứa đồng đã cải biến bề mặt có diện tích bề mặt lớn hơn các hạt đồng trước khi lắng phủ kim loại.

Theo một phương án, các hạt chứa đồng đã cải biến bề mặt có diện tích bề mặt ít nhất là $0,66 \text{ m}^2/\text{g}$.

Theo một phương án, các hạt chứa đồng đã cải biến bề mặt có diện tích bề mặt ít nhất là $0,83 \text{ m}^2/\text{g}$.

Theo một phương án, ion kim loại là một hoặc nhiều trong số niken, mangan, và coban. Một phương án bao gồm bột nhão chứa các hạt chứa đồng được cải biến bề mặt.

Phù hợp với các nguyên tắc của sáng chế, phương pháp tạo ra bột nhão để mạ kim loại pin mặt trời bao gồm bước trộn nhiều hạt với nhau trong chất mang hữu cơ. Nhiều hạt bao gồm các hạt chứa đồng, hạt nano, và hạt oxit thứ cấp

Theo một phương án, trước khi trộn, phương pháp còn bao gồm việc cải biến bề mặt của các hạt chứa đồng để làm tăng diện tích bề mặt của các hạt chứa đồng ít nhất là 20 %.

Theo một phương án, trước khi trộn, phương pháp còn bao gồm cải biến bề mặt của các hạt chứa đồng bằng cách cho các hạt chứa đồng tiếp xúc với dung dịch và lắng phủ các hạt kim loại và/hoặc oxit kim loại lên bề mặt của các hạt chứa đồng.

Theo một phương án, trước khi trộn, phương pháp còn bao gồm bước trộn bột thứ nhất chứa các hạt chứa đồng với bột thứ hai chứa các hạt chứa đồng, bột thứ nhất được đặc trưng bởi sự phân bố kích thước hạt thứ nhất và sự phân bố kích thước hạt thứ nhất và bột thứ hai được đặc trưng bởi kích thước hạt trung bình thứ hai và sự phân bố kích thước hạt thứ hai, sự phân bố kích thước hạt thứ nhất là lớn hơn sự phân bố kích thước hạt thứ hai.

Theo một phương án, tất cả các hạt chứa đồng là từ một sự phân bố kích thước hạt duy nhất.

Theo một phương án, việc trộn bao gồm trộn ít nhất là 80 % khối lượng các hạt chứa đồng, 1 đến 15 % khối lượng hạt oxit thứ cấp, và 1 đến 10 % khối lượng hạt nano với 1 đến 13 % khối lượng chất mang hữu cơ.

Theo một phương án, trộn bao gồm trộn hạt đồng kim loại, hạt nano chứa ít nhất là các hạt chì, và oxit antimon với nhau.

Theo một phương án, trước khi trộn, phương pháp còn bao gồm việc cải biến bề mặt của các hạt chứa đồng để làm tăng diện tích bề mặt của các hạt chứa đồng ít nhất là 2 %.

Theo một phương án, các hạt chứa đồng bao gồm bột đồng mịn.

Theo một phương án, bột đồng mịn được đặc trưng bởi kích thước hạt trung bình trong khoảng từ 1,2 μm đến 3,2 μm .

Theo một phương án, tỷ lệ của hạt oxit thứ cấp và các hạt nano chứa oxit kim loại trong khoảng từ 0,25 đến 20 khối lượng.

Theo một phương án, tỷ lệ của hạt oxit thứ cấp và các hạt nano chứa oxit kim loại trong khoảng từ 3 đến 17 khối lượng.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Các hình vẽ kèm theo, mà được kết hợp và tạo thành một phần của bản mô tả này, minh họa các phương án của sáng chế và cùng với phần mô tả chi tiết dưới đây, nhằm giải thích các khía cạnh khác nhau của sáng chế.

Fig. 1 là hình chiếu bằng của mảng pin của tấm pin mặt trời theo một phương án của sáng chế.

Fig. 2 là hình chiếu bằng được phóng to của một pin mặt trời của tấm pin mặt trời được thể hiện trên Fig. 1 theo một phương án của sáng chế.

Fig. 3 là hình phối cảnh mặt cắt phóng to của pin mặt trời của Fig. 2 được lấy dọc theo đường cắt 3-3.

Fig. 4 là sơ đồ đại diện mặt cắt của đường bột nhão trên nền theo một phương án của sáng chế.

Fig. 5 là sơ đồ đại diện mặt cắt của đường bột nhão của Fig. 4 sau khi làm khô theo một phương án của sáng chế.

Fig. 6 là sơ đồ đại diện của mặt cắt của đường sau khi nung của đường trên Fig. 5.

Các Fig. 7A và 7B là sơ đồ quy trình sản xuất hạt nano làm ví dụ theo các phương án của sáng chế.

Fig. 8 thể hiện hình ảnh TEM của các hạt được tạo ra theo một phương án của sáng chế bằng phân tích nguyên tố được chồng phủ.

Fig. 9A là sơ đồ quy trình để cải biến bề mặt của các hạt chứa đồng trước khi sử dụng trong bột nhão theo một phương án của sáng chế.

Fig. 9B là sơ đồ quy trình tạo thành bột nhão theo một phương án của sáng chế.

Fig. 10 là đồ thị thể hiện profin nhiệt độ của hỗn hợp phản ứng theo quy trình làm ví dụ để cải biến bề mặt của các hạt chứa đồng theo một phương án.

Các Fig. 11A, 11B, 11C, và 11D là các đồ thị thể hiện thử nghiệm lão hóa được tăng tốc đối với mật độ dòng điện ngắn mạch được chuẩn hóa (J_{sc}), điện thế mạch hở được chuẩn hóa (V_{oc}), hệ số lấp đầy được chuẩn hóa (FF), và hiệu suất chuẩn hóa (η), tương ứng, đối với bột nhão được tạo ra mà không cải biến bề mặt của các hạt chứa đồng.

Fig. 12A là đồ thị của thử nghiệm lão hóa được tăng tốc về điện thế mạch hở được chuẩn hóa (V_{oc}) đối với bột nhão bằng cách sử dụng các phương án khác nhau của hạt nano, được nung ở các nhiệt độ khác nhau.

Các Fig. 12B, 12C, 12D, và 12E là các đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng của thử nghiệm lão hóa được tăng tốc lên hiệu suất PV đối với bột nhão được tạo ra bằng cách sử dụng các phương án hạt nano khác nhau, được nung ở các nhiệt độ khác nhau.

Các Fig. 12F và 12G là các đồ thị thể hiện thử nghiệm lão hóa được tăng tốc lên điện thế mạch hở được chuẩn hóa (V_{oc}) và mật độ dòng điện ngắn mạch được chuẩn hóa (J_{sc}) đối với bột nhão được tạo ra bằng cách sử dụng các phương án hạt nano khác nhau, được nung ở các nhiệt độ khác nhau.

Các Fig. 12H và 12I là các đồ thị thể hiện thử nghiệm lão hóa được tăng tốc lên hệ số lấp đầy được chuẩn hóa (FF) và hiệu suất chuẩn hóa (η) đối với bột nhão được tạo ra bằng cách sử dụng các phương án hạt nano khác nhau, được nung ở các nhiệt độ khác nhau.

Các Fig. 13A, 13B, 13C, và 13D là đồ thị của mật độ dòng điện ngắn mạch được chuẩn hóa (J_{sc}), hệ số lấp đầy được chuẩn hóa (FF), điện thế mạch hở được chuẩn hóa (V_{oc}), và hiệu suất chuẩn hóa (η) đối với các phương án làm ví dụ của bột nhão trên pin từ các nhà sản xuất khác nhau.

Các Fig. 13E, 13F, 13G, và 13H là đồ thị dòng điện - điện thế sau thử nghiệm lão hóa được tăng tốc trên các phương án làm ví dụ của bột nhão đối với pin từ các nhà sản xuất khác nhau.

Các Fig. 14A, 14B, và 14C là đồ thị dòng điện theo điện thế để lão hóa tăng tốc pin làm ví dụ được chế tạo từ bột nhão chứa lượng tăng dần của oxit thứ cấp và hạt nano.

Các Fig. 15A, 15B, 15C, 15D là 15E đồ thị thể hiện thử nghiệm lão hóa được tăng tốc lên mật độ dòng điện ngắn mạch được chuẩn hóa (J_{sc}), điện thế mạch hở được chuẩn hóa (V_{oc}), hệ số lấp đầy được chuẩn hóa (FF), hiệu suất chuẩn hóa (η) và điện trở chuẩn hóa, tương ứng, đối với các phương án khác nhau của bột nhão chứa tỷ lệ tăng dần của oxit thứ cấp và hạt nano. Fig. 15F là đồ thị thể hiện thử nghiệm lão hóa được tăng tốc trên FF chuẩn hóa, khi tỷ lệ giữa oxit thứ cấp và hạt nano trong bột nhão được thay đổi.

Các Fig. 16A, 16B, 16C, 16D, và 16E là đồ thị thể hiện thử nghiệm lão hóa được tăng tốc lên mật độ dòng điện ngắn mạch được chuẩn hóa (J_{sc}), điện thế mạch hở được chuẩn hóa (V_{oc}), hệ số lấp đầy được chuẩn hóa (FF), hiệu suất chuẩn hóa (η), và điện trở chuẩn hóa, tương ứng, đối với các phương án làm ví dụ của bột nhão bằng cách sử dụng các hạt chứa đồng với mức cải biến bề mặt ngày càng tăng.

Các Fig. 17A, 17B, 17C, và 17D là đồ thị mật độ dòng điện so với điện thế đối với pin làm ví dụ được chế tạo từ các bột nhão khác nhau sau thử nghiệm lão hóa tăng tốc, trong đó bột nhão sử dụng các hạt chứa đồng với mức cải biến bề mặt ngày càng tăng.

Các Fig. 18A, 18B, và 18C là các đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng của việc thay đổi tỷ lệ của hai hạt chứa đồng chứa các phạm vi kích thước hạt khác nhau, lên sự đóng góp diện tích bề mặt, thể tích và khối lượng đối với tổng tải lượng đồng trong bột nhão, khi tổng đóng góp diện tích bề mặt từ các hạt chứa đồng được giữ không đổi.

Các Fig. 18D và 18E là hình ảnh kính hiển vi quang học của bột nhão sử dụng lần lượt hạt đồng 100% thô ($10 - 22 \mu\text{m}$) và 100% mịn ($1,2 - 3,2 \mu\text{m}$).

Các Fig. 19A và 19B là đồ thị minh họa sự ảnh hưởng của tỷ lệ của các hạt chứa đồng thô và đồng mịn trong bột nhão lên điện trở suất tiếp xúc được tạo ra sau khi nung.

Các Fig. 20A và 20B là đồ thị minh họa đồ thị mật độ dòng điện và điện thế của các phương án bột nhão bằng cách sử dụng các tỷ lệ khác nhau giữa các hạt chứa đồng thô và đồng mịn.

Fig. 20C là đồ thị của tốc độ trực chính so với độ nhớt của hai bột nhão làm ví dụ được tạo ra bằng cách sử dụng các hạt chứa đồng được cải biến bề mặt với các hình dạng hạt khác nhau.

Các Fig. 20D và 20E là các vi ảnh SEM của các tiết diện của bột nhão làm ví dụ được tạo ra bằng cách sử dụng bột chứa đồng được cải biến bề mặt với các hình dạng hạt khác nhau sau khi nung.

Các Fig. 21A, 21B, và 21C là hình ảnh quang học của bột nhão sau khi nung; được tạo ra bằng cách lần lượt thay đổi tỷ lệ của các hạt chứa đồng thô và đồng mịn từ 100:0, 90:10, và 80:30.

Các Fig. 22 là các hình ảnh SEM của tiết diện của ngón tay được tạo ra bởi các các phương án khác nhau của bột nhão sau khi nung.

Fig. 23 là mẫu nhiễu xạ tia X của màng được xử lý nhiệt và lắng phủ được tạo ra bằng hạt nano theo các phương án của sáng chế.

Các Fig. 24A và 24B là đồ thị mật độ dòng điện so với điện thế minh họa sự ảnh hưởng của việc tăng lượng chất mang hữu cơ trong một số phương án của bột nhão và thay đổi nhiệt độ nung lên tính chất điện của pin.

Các Fig. 25A, 25B, 25C, 25D, 25E, và 25F là đồ thị thể hiện ảnh hưởng của sự tương tác thiết kế thử nghiệm (DOE) thể hiện sự tương tác của oxit thứ cấp và hạt nano trên điện trở suất khối, điện trở suất tiếp xúc, J_{sc} , FF, V_{oc} , và η , tương ứng.

Các Fig. 26A và 26B lần lượt là hình ảnh SEM và hình ảnh, minh họa vi cấu trúc được tạo thành sau khi nung bột nhão chứa tỷ lệ cao oxit thứ cấp.

Các Fig. 27A, 27B, và 27C là các ảnh SEM của tiết diện của ngón tay được in bằng bột nhão làm ví dụ chứa các tỷ lệ khác nhau của bột chứa đồng có kích thước thô, trung bình, nhỏ và mịn.

Các Fig. 28A và 28B lần lượt là hình ảnh quang học của mặt trước và mặt sau, của bản in được làm từ bột nhão làm ví dụ, mà được phối chế để có độ xốp thấp.

Các Fig. 29A, 29B, 29C, 29D, và 29E là đồ thị thể hiện điện thế so với mật độ dòng điện đối với các bột nhão, chứa lượng oxit thứ cấp tăng dần.

Các Fig. 30A, 30B, 30C, 30D, và 30E là đồ thị của thử nghiệm lão hóa được tăng tốc lên mật độ dòng điện ngắn mạch được chuẩn hóa (J_{sc}), hệ số lấp đầy được chuẩn hóa (FF), điện thế mạch hở (V_{oc}), hiệu suất chuẩn hóa (η), và điện trở chuẩn hóa đối với bột nhão làm ví dụ được nung trong khoảng thời gian tăng dần.

Các Fig. 30F, 30G, và 30H là các đồ thị thể hiện mật độ dòng điện so với điện thế đối với thử nghiệm lão hóa được tăng tốc trên bột nhão làm ví dụ được nung trong khoảng thời gian tăng dần.

Các Fig. 31A, 31B, 31C, 31D, 31E tương ứng thể hiện sự ảnh hưởng của lượng chất mang hữu cơ trong bột nhão và điều kiện nung (tức là thời gian giữ) lên J_{sc} , V_{oc} , FF, η và điện trở trên ngón tay, khi các hạt chứa đồng mịn được cải biến bề mặt trong bột nhão có diện tích bề mặt là $1,10 \text{ m}^2/\text{g}$.

Các Fig. 31F, 31G, 31H, 31I, 31J tương ứng thể hiện sự ảnh hưởng của lượng chất mang hữu cơ trong bột nhão và điều kiện nung (tức là thời gian giữ) trên J_{sc} , V_{oc} , FF, η và điện trở trên ngón tay, khi các hạt chứa đồng mịn được cải biến bề mặt trong bột nhão có diện tích bề mặt là $2,65 \text{ m}^2/\text{g}$.

Các Fig. 31K, 31L, 31M, 31N, 31O tương ứng thể hiện sự ảnh hưởng của lượng chất mang hữu cơ trong bột nhão và điều kiện nung (tức là thời gian giữ) trên J_{sc} , V_{oc} , FF, η và điện trở trên ngón tay, khi các hạt chứa đồng mịn được cải biến bề mặt trong bột nhão có diện tích bề mặt là $2,65 \text{ m}^2/\text{g}$.

Các Fig. 32A, 32B, 32C, 32D, 32E, và 32F là hình ảnh hiển vi quang học của ngón tay sau khi nung với Fig. 32A không có hạt nano, Fig. 32B tỷ lệ giữa oxit thứ cấp và hạt nano là 16,75, Fig. 32C tỷ lệ giữa oxit thứ cấp và hạt nano là 8,37, Fig. 32D tỷ lệ giữa oxit

thứ cấp và hạt nano là 5,58, Fig. 32E tỷ lệ giữa oxit thứ cấp và hạt nano là 4,19, Fig. 32F tỷ lệ giữa oxit thứ cấp và hạt nano là 3,35.

Các Fig. 33A và 33B thể hiện sự ảnh hưởng của việc tăng lượng thủy tinh frit trong bột nhão lên hiệu suất PV (hệ số lấp đầy, FF) là hàm của khối lượng được in đối với bột nhão được tạo ra bằng cách sử dụng bột chứa đồng có mức đóng góp diện tích bề mặt là (a) khoảng 0,80 và (b) 0,57 m² trong mỗi gam bột nhão.

Các Fig. 34A, 34B, 34C, và 34D thể hiện năng suất PV (lần lượt là Fig. 34A mật độ dòng ngắn mạch, Fig. 34B điện thế mạch hở, Fig. 34C hệ số lấp đầy, và Fig. 34D hiệu suất) là hàm của tốc độ băng tải được sử dụng để nung pin trong lò nung băng tải IR công nghiệp.

Fig. 35 thể hiện đường cong dòng điện – điện thế (IV) trong các điều kiện tối và được chiếu sáng đối với bột nhão được tạo ra bằng cách chỉ sử dụng bột chứa đồng mịn 1,2 – 3,2 μm.

Các Fig. 36A, 36B, và 36C cho thấy sự ảnh hưởng của việc sử dụng các hạt chứa đồng với diện tích bề mặt của Fig. 36A là 0,51 m² mỗi gam bột nhão, Fig. 36B là 0,57 m² mỗi gam bột nhão, và Fig. 36C là 0,65 m² mỗi gam bột nhão trên điện thế mạch hở, V_{oc}.

Các Fig. 37A và 37B thể hiện sự ảnh hưởng của thử nghiệm lão hóa được tăng tốc ở 200 °C trên năng suất PV Fig. 37A là điện thế mạch hở và Fig. 37B là hệ số lấp đầy giả của pin poly c-Si với bề mặt tiếp xúc sau Al BSF hoàn toàn, được mạ kim loại bằng bột nhão CuBert™.

Các Fig. 38A và 38B thể hiện hiệu suất của pin mặt trời PERC silic đơn tinh thể được in bằng bột nhão được tạo ra bằng cách sử dụng hạt nano Ni/Ni/Pb chuẩn với tỷ lệ Ni/Pb là 1,52 và với tỷ lệ là 0,52 và cũng thể hiện tác động của việc tăng gấp đôi tỷ lệ của hạt nano và lượng chất kết dính lên năng suất PV.

Các Fig. 39A, 39B và 39C cho thấy tác động của điều kiện nung đối với điện trở trên 22 ngón tay có chiều dài 3,2 mm được in bằng bột nhão có chứa chất kết dính Fig. 39A là 2,05 % khối lượng chất kết dính, Fig. 39B là 2,35 % khối lượng chất kết dính, và Fig. 39C là 2,64 % khối lượng chất kết dính.

Fig. 40 là hình ảnh hiển vi quang học của ngón tay theo một ví dụ.

Các Fig. 41A và 41B là các hình ảnh hiển vi quang học của ngón tay được in qua hai kích thước lưới khác nhau trước khi nung theo một ví dụ.

Mô tả chi tiết sáng chế

Tham chiếu đến các Fig. 1 và 2, mảng pin 10 của tấm pin mặt trời (không được thể hiện) bao gồm nhiều pin mặt trời 12. Mặc dù không được thể hiện trên Fig. 1, mảng pin 10 có thể là một gói các bộ phận bao gồm tấm trước, tấm sau, và lớp bọc (ví dụ etylen vinyl axetat). Nền silic nằm giữa tấm trước và tấm sau giữa các lớp bọc. Các kết nối là cần thiết để nối điện pin 12 trong mảng 10 với nhau. Các bộ phận này có thể nằm trong khung (không được thể hiện). Số lượng pin 12 trong mảng 10 có thể khác với số lượng được thể hiện. Ví dụ, tấm pin mặt trời có thể bao gồm sáu mươi pin trở lên. Các số lượng pin phổ biến khác là 72 và 90. Nhưng các phương án của sáng chế không bị giới hạn ở bất kỳ số lượng pin mặt trời 12 nào trong mảng pin 10.

Như được mô tả ở đây, một hoặc nhiều pin 12 có thể bao gồm một hoặc nhiều bộ phận dẫn điện (tức là điện cực) có chứa đồng. Phần lớn của bộ phận dẫn điện kim loại có thể là đồng với phần còn lại là kim loại khác và/hoặc vật liệu chứa kim loại. Theo một phương án, một hoặc nhiều pin mặt trời 12 không chứa bạc. Thuận lợi, pin mặt trời 12 có thể được sản xuất theo cách tiết kiệm chi phí vì các bộ phận dẫn chứa đồng thay thế cho bộ phận dẫn bằng bạc. Ngoài ra, như được mô tả ở đây, bộ phận dẫn chứa đồng được sản xuất từ bột nhão chứa đồng trong quy trình mạ kim loại. Như là một thuận lợi khác, bột nhão theo sáng chế có thể được thay thế thành các quy trình hiện đang sử dụng bột nhão chứa bạc, chẳng hạn quy trình sản xuất tấm/pin mặt trời. Như sẽ được đánh giá cao, điều này giúp loại bỏ sự cần thiết của các khoản đầu tư vốn lớn đối với kỹ thuật mạ đồng đồng thời cung cấp quy trình hiệu quả về chi phí để sản xuất pin mặt trời có điện cực bằng đồng là chủ yếu và không có bạc.

Tham chiếu đến các Fig. 2 và 3, pin mặt trời 12 bao gồm phiên hoặc nền bán dẫn 14. Phiên 14 là silic đơn tinh thể. Tuy nhiên, các phương án của sáng chế đều có thể áp dụng như nhau đối với nền silic đa tinh thể cũng như các nền và màng bán dẫn khác. Tham chiếu đến Fig. 3, phiên 14 có thể bao gồm vùng silic được pha tạp kiểu n 16 liền kề vùng silic được pha tạp kiểu p 18 để tạo ra lớp chuyển tiếp p-n. Các kiến trúc khác có thể bao gồm sự đảo ngược các vùng pha tạp p và n và kết hợp các vùng pha tạp cục bộ hóa. Sự tổ

hợp của các vùng 16 và 18 cho phép tách electron từ lỗ khi silic bị tấn công bởi các photon ánh sáng. Lớp phủ chống phản xạ 20 bao phủ vùng silic được pha tạp kiểu n 16 và tạo thành bề mặt trước 22 của pin mặt trời 12. Ví dụ, lớp phủ chống phản xạ 20 có thể là silic nitrua (SiN). Lớp phủ chống phản xạ 20 làm giảm lượng phản xạ của ánh sáng tới (được thể hiện bằng các mũi tên 24 trong Fig. 3) từ bề mặt phía trước 22 và do đó làm tăng phần ánh sáng tới 24 tác động đến phiến 14. Lớp phủ chống phản xạ 20 cũng hỗ trợ sự thụ động hóa của phiến silic 14, giúp giảm tổn hao do tái kết hợp. Điều này cải thiện hiệu suất điện của pin mặt trời 12.

Nhiều bộ phận dẫn điện 26, được gọi là ngón tay, được lộ ra ở bề mặt trước 22 của pin mặt trời 12. Như được thể hiện trên Fig. 3, ngón tay 26 xuyên qua lớp phủ chống phản xạ 20 và tiếp xúc điện với phiến 14, và đặc biệt là vùng silic được pha tạp kiểu n 16. Bộ phận dẫn phía sau 30 được tiếp xúc điện với vùng pha tạp kiểu p 18 của phiến 14 đối diện ngón tay 26. Bộ phận dẫn 26 và 30 dẫn dòng điện được tạo ra bởi các photon ánh sáng tác động vào phiến 14 để cuối cùng tạo ra điện. Theo các phương án của sáng chế, một hoặc nhiều ngón tay 26 và/hoặc bộ phận dẫn phía sau 30 có thể chứa đồng và hơn thế nữa về mặt này có thể không chứa bạc. Các ngón tay 26 được tạo ra như được mô tả ở đây có độ dẫn điện kém hơn đồng kim loại dạng khối từ 2 lần đến 10 lần. Điện trở suất của ngón tay là nghịch đảo của độ dẫn điện của chúng. Bộ phận dẫn phía sau 30 có thể được chế tạo từ nhôm hoặc bộ phận dẫn điện, có độ dày trong khoảng từ 10 μm đến 100 μm . Như được mô tả ở trên, chẳng hạn, ngón tay 26 có thể được tạo ra từ bột nhão chứa đồng và vì thế thay thế bột nhão chứa bạc trong sản xuất pin mặt trời 12.

Liên quan đến vấn đề này, và tham chiếu đến các Fig. 4, 5, và 6, bột nhão chứa đồng 32 (được thể hiện trên Fig. 4) theo một phương án của sáng chế được đặt lên bề mặt trước 22 của nền 40. Bột nhão chứa đồng 32 có thể được in lụa lên nền 40 hoặc được phân tán bằng phương pháp khác. Như được thể hiện, nền 40 bao gồm lớp phủ chống phản xạ 20 và phiến 14. Khi bộ phận dẫn phía sau 30 được làm bằng nhôm, nó có thể đã có mặt (như hình minh họa) hoặc có thể được hình thành trong quá trình sản xuất ngón tay 26. Trong quá trình sản xuất, nền 40, lớp phủ chống phản xạ 20, phiến 14, bộ phận dẫn phía sau 30, và bột nhão 32 được sử dụng hoặc được lắng phủ để tạo ra pin 12 được thể hiện trên Fig. 2.

Trong quá trình in lên nền 40, và tham chiếu đến Fig. 4, bột nhão chứa đồng 32 xác định phân thân kéo dài (ví dụ đường thẳng) có chiều cao, chiều rộng và chiều dài trên nền

40. Phần thân kéo dài được chuyển thành ngón tay trong khi nung bột nhão 32, được mô tả dưới đây. Để đạt được mục đích đó, bột nhão 32 bao gồm nhiều hạt 42 được chứa trong chất mang hữu cơ 44. Tính chất lưu biến của bột nhão 32 có thể được điều chỉnh bằng cách thay đổi thành phần của chất mang hữu cơ 44 và/hoặc các hạt 42 để cho phép bột nhão 32 được phân phối thông qua quy trình in lụa (ví dụ, tương tự như được sử dụng để in lụa bột nhão chứa bạc lên trên phiến silic) hoặc bằng phương pháp khác. Tính chất lưu biến của bột nhão 32 đủ để cho phép bột nhão 32 được phân tán trong khi cũng cho phép bột nhão 32 duy trì mẫu đã phân phối và không chảy qua nền 40; vì thế cho phép ngón tay duy trì tỷ lệ phương diện cao (chiều cao ngón tay/chiều rộng ngón tay)

Chỉ nhằm ví dụ, và không giới hạn, chất mang hữu cơ 44 có thể là hỗn hợp của chất kết dính hữu cơ cùng với một hoặc nhiều dung môi, chất phân tán, chất cải biến độ nhớt và/hoặc chất cải biến sức căng bề mặt. Các chất kết dính làm ví dụ bao gồm polyvinylpyrrolidon (PVP), etyl xenluloza, và monosacarit, chẳng hạn fructoza. Dung môi làm ví dụ bao gồm rượu, este rượu, và glycol, chẳng hạn propylen glycol, etylen glycol, polyetylen glycol, este rượu Texanol™, cũng như ete rượu và glycol, chẳng hạn dietylen glycol và trietylen glycol, ngoài nước. Chất cải biến sức căng bề mặt và độ nhớt làm ví dụ bao gồm DISPERBYK® 111, DISPERBYK® 180, DISPERBYK® 190, RHODAFAC® RE-610, và natri stearat, để gọi tên một số loại. Thể tích của chất mang hữu cơ 44 trong bột nhão 32 và tỷ lệ của mỗi loại hạt 42 có thể được điều chỉnh để đáp ứng đặc điểm lưu biến mong muốn (ví dụ, độ nhớt). Nói chung, bột nhão 32 có thể bao gồm một vài tỷ lệ % khối lượng của chất mang hữu cơ 44. Ví dụ, bột nhão 32 bao gồm chất mang hữu cơ 44 trong khoảng từ 1 % khối lượng đến 15 % khối lượng.

Bột nhão chứa đồng 32 là hỗn hợp của các hạt có thành phần khác nhau. Tức là, bột nhão 32 có thể là hỗn hợp của các bột cung cấp toàn bộ các hạt 42. Mỗi một trong số các bột có thể bao gồm các hạt 42 có thành phần, kích thước hạt, và/hoặc hình dạng hạt khác nhau.

Theo một phương án, bột nhão chứa đồng 32 bao gồm nhiều hạt chứa đồng 46 mà tạo thành tỷ lệ thể tích lớn nhất của các hạt 42 trong bột nhão 32. Các hạt chứa đồng 46 có thể tạo thành phần lớn thể tích của ngón tay 26. Với việc cấu tạo từ các hạt 42, sau khi nung, ngón tay 26 có thể cung cấp tính dẫn điện, thông qua đồng kim loại hoặc kim loại chứa đồng, đủ để phát huy hiệu suất pin mặt trời một cách hiệu quả. Ví dụ, các hạt chứa

đồng 46 có thể là đồng kim loại và tạo thành từ 48 % thể tích đến 88 % thể tích của chất rắn trong bột nhão 32. Điều này có thể chuyển thành kim loại đồng ít nhất là 80% khối lượng trong bột nhão 32 trước khi làm khô. Đồng kim loại trong bột nhão 32 có thể trong khoảng từ 62 % khối lượng đến 98 % khối lượng. Trong khi các hạt chứa đồng 46 được mô tả đồng thời tham chiếu đến đồng kim loại, các hạt chứa đồng 46 không bị giới hạn ở đồng kim loại, mà có thể bao gồm các thành phần tạp chất nhỏ. Các hạt chứa đồng 46 có thể là các hạt hợp kim chứa đồng hoặc các hạt phi kim chứa đồng (ví dụ oxit) có thể được khử thành đồng hoặc thành hợp kim chứa đồng. Các hợp kim chứa đồng là các hợp kim mà chứa đồng là thành phần chính của chúng, ví dụ, đồng đỏ (hợp kim đồng-thiếc) và đồng thau (hợp kim đồng-kẽm). Như là các ví dụ khác, hợp kim đồng có thể bao gồm đồng kết hợp với các nguyên tố kim loại khác bao gồm niken, nhôm, và/hoặc chì. Hợp kim đồng-phospho cũng được dự tính. Các hạt chứa đồng 46 có thể là hỗn hợp của hai hoặc nhiều đồng kim loại, hợp kim chứa đồng, và nguyên liệu phi kim chứa đồng.

Các hạt chứa đồng 46 được cung cấp trong bột nhão 32 bởi bột được mô tả bằng sự phân bố kích thước hạt. Ví dụ, sự phân bố kích thước hạt đối với một loại bột đồng có thể bao gồm các hạt có kích thước trong khoảng từ 10 μm đến 22 μm . Tức là bột chứa các hạt có kích thước từ 10 μm đến 22 μm với kích thước hạt trung bình trong khoảng này. Ví dụ khác, sự phân bố kích thước hạt hẹp hơn của các hạt chứa đồng 46 bao gồm các hạt có kích thước trong khoảng từ 10 μm đến 20 μm . Các ví dụ khác bao gồm sự phân bố kích thước hạt hẹp dần, các sự phân bố kích thước hạt với các hạt trong khoảng từ 7,5 μm đến 14,7 μm (tương ứng là D_{10} và D_{90}), từ 1,8 μm đến 7,7 μm (tương ứng là D_{10} và D_{90}), từ 1,2 μm đến 3,2 μm (tương ứng là D_{10} và D_{90}), hoặc từ 0,2 μm đến 1,6 μm (tương ứng là D_{10} và D_{90}). Các hạt chứa đồng 46 có thể là các hạt từ một loại bột có sự phân bố kích thước hạt (ví dụ, một trong các loại phân bố được lấy làm ví dụ nêu trên), hoặc hỗn hợp của nhiều bột khác nhau sao cho có nhiều sự phân bố kích thước hạt khác biệt được trộn trong bột nhão 32. Sự phân bố kích thước hạt tương quan với diện tích bề mặt trên mỗi khối lượng đơn vị của bột. Do đó, khi sự phân bố kích thước hạt được chuyển sang các hạt nhỏ hơn, diện tích bề mặt trên mỗi gam bột sẽ tăng lên.

Ví dụ, bột của các hạt chứa đồng thô 46 có thể được trộn với bột của các hạt chứa đồng mịn 46. Bột chứa đồng mịn 46 có thể lấp đầy các kẽ hở giữa các hạt chứa đồng 46 trong bột nhão 32. Điều này dẫn đến sự phân bố kích thước hạt hai phương thức của các

hạt chứa đồng 46 trong bột nhão 32 và có thể tối đa hóa thể tích của đồng trong bột nhão 32. Theo cách này, tổ hợp của bất kỳ trong số hai hoặc nhiều sự phân bố kích thước hạt đã xác định ở trên có thể được trộn với nhau để điều chỉnh tỷ lệ % thể tích của đồng trong bột nhão 32 trong khoảng mong muốn. Đối với hỗn hợp hai thành phần, tỷ lệ của bột chứa đồng có kích thước khác nhau theo khối lượng có thể nằm trong khoảng từ 60 % khối lượng thô - 40 % khối lượng mịn đến 90 % khối lượng thô - 10 % khối lượng mịn. Ví dụ, bột đồng thô có sự phân bố kích thước hạt với phạm vi kích thước hạt từ 10 μm đến 20 μm có thể được trộn với bột đồng mịn có sự phân bố kích thước hạt trong khoảng từ 1,2 μm đến 3,2 μm ở tỷ lệ là 90 % khối lượng thô trên 10 % khối lượng mịn. Các tỷ lệ khác của hai hoặc nhiều bột đồng cũng có thể, ví dụ, bột đồng thô có sự phân bố kích thước hạt với phạm vi kích thước hạt từ 7,5 μm đến 14,7 μm có thể được trộn với bột đồng mịn có sự phân bố kích thước hạt với phạm vi kích thước hạt từ 1,2 μm đến 3,2 μm ở tỷ lệ là 70 % khối lượng thô trên 30 % khối lượng mịn. Như là một ví dụ về bốn bột chứa đồng khác nhau, sự phân bố kích thước hạt với phạm vi kích thước hạt từ 10 μm đến 22 μm được trộn với ba bột chứa đồng khác có sự phân bố kích thước hạt với khoảng từ 7,5 μm đến 14,7 μm , từ 1,8 μm đến 7,7 μm , và từ 1,2 μm đến 3,2 μm ở tỷ lệ khối lượng tương ứng là từ 37 đến 21 đến 12 đến 30. Bột chứa đồng theo các phương án của sáng chế có bán trên thị trường từ công ty Bean Town (vảy đồng), Chemical Store (mặt hàng Cu112SP), ACuInternational (các mặt hàng 610 và 603), và Ames Goldsmith (mặt hàng C1-2000).

Sẽ đánh giá được rằng bột nhão chứa đồng 32 trên Fig. 4 là biểu diễn bằng sơ đồ. Trong khi các hạt 42 trong bột nhão 32 được biểu diễn ở dạng hình cầu, các phương án của sáng chế không bị giới hạn ở dạng đơn lẻ bất kỳ của các hạt là hình cầu. Các hình thái hạt khác có thể xảy ra, cụ thể là dạng vảy, dạng kim, dạng khía, dạng tua, dạng lỗ xộp, dạng tròn, dạng lỗ rỗng, dạng thuôn, dạng dây và được trang trí, chỉ có thể kể tên một vài dạng.

Tham chiếu đến Fig. 4, bột nhão 32 bao gồm các hạt khác 42 khác ít nhất về thành phần của các hạt chứa đồng 46. Theo phương án làm ví dụ, các hạt khác 42 trong bột nhão 32 bao gồm hạt nano 50. Mỗi hạt nano 50 là một vật thể rời rạc trong đó cả ba kích thước đều bằng hoặc nhỏ hơn 100 nm. Hạt nano 50 có thể tạo thành khối kết tụ hoặc khối kết tập trong trường hợp đó khối kết tụ hoặc khối kết tập có thể có kích thước lên đến 1 μm theo mỗi hướng trục giao. Theo một phương án, hạt nano 50 là kim loại, oxit kim loại, và/hoặc hydroxit kim loại của một hoặc nhiều trong số niken (Ni), đồng (Cu), chì (Pb), coban (Co),

mangan(Mn), và bạc (Ag). Chỉ nhằm ví dụ, hạt nano nguyên tố hỗn hợp có thể bao gồm Cu, Ni, và Pb; Ni, Ni, và Pb; hoặc Mn, Mn, và Pb. Ví dụ, hạt nano 50 bao gồm hạt nano của oxit hỗn hợp của hạt nano Cu/Ni/Pb, Cu-Ag/Ni/Pb, oxit hỗn hợp của hạt nano Co/Co/Pb, oxit hỗn hợp của hạt nano Ni-Co/Ni/Pb, oxit hỗn hợp của hạt nano Ni-Ag/Ni/Pb, và oxit hỗn hợp của hạt nano Mn/Mn/Pb. Như được mô tả dưới đây, mỗi kim loại trong ký hiệu A/B/C (ví dụ Cu/Ni/Pb) có thể được cung cấp bởi muối kim loại sao cho hạt nano Ni/Ni/Pb được tổng hợp với Ni được cung cấp bởi hai muối chứa niken khác nhau. Các kim loại đó có thể được oxy hóa trong quá trình tổng hợp. Hạt nano 50 có thể được pha tạp với một hoặc nhiều trong số phospho (P), clo (Cl), và bo (B), mà mà có thể là do quá trình tổng hợp hạt nano 50. Một quy trình làm ví dụ để tạo ra hạt nano 50 được mô tả dưới đây có tham chiếu đến các Fig. 7A và 7B.

Hạt nano 50 được bao gồm trong bột nhão 32 với lượng đủ để khử hoặc loại trừ sự oxy hóa đồng kim loại hoặc hợp kim đồng trong bột nhão 32 hoặc được tạo thành trong quá trình sản xuất pin mặt trời 12, được mô tả thêm dưới đây, đồng thời cũng giảm sự khuếch tán của đồng vào trong phiên 14 trong khi sử dụng pin mặt trời 12. Hạt nano 50 cũng có thể khắc ăn mòn lớp phủ chống phản xạ 20 và cho phép nối điện đồng với phiên 14. Việc giảm sự khuếch tán đồng có thể là do việc tạo thành lớp chặn giữa đồng của ngón tay 26 và phiên 14 trong quá trình sản xuất. Không bị ràng buộc bởi lý thuyết bất kỳ, hạt nano 50 được tin là tham gia vào việc tạo thành lớp chặn sao cho các thành phần của hạt nano 50 tạo ra mặt phân cách giữa silic của phiên 14 và đồng từ các hạt chứa đồng 46. Ví dụ, hạt nano 50 có thể có mặt với lượng lên đến 17 % khối lượng trong bột nhão 32. Và, là các ví dụ bổ sung, hạt nano 50 có thể có mặt với lượng có thể phát hiện được lên đến 5 % khối lượng; lượng có thể phát hiện được lên đến 3 % khối lượng; từ lượng 0,2 % khối lượng (hoặc gần giới hạn dưới của việc xác định) lên đến 3 % khối lượng; hoặc từ 0,2 % khối lượng lên đến 5 % khối lượng trong bột nhão 32. Hỗn hợp của các hạt nano khác nhau cũng được dự tính với tổng khối lượng của hỗn hợp nằm trong các khoảng nêu trên. Ví dụ, hỗn hợp của hạt nano 50 có thể là 50 % khối lượng hạt nano Ni/Ni/Pb và 50 % khối lượng hạt nano Cu/Ni/Pb.

Như được thể hiện trên các Fig. 4 và 5, các hạt chứa đồng 46 có thể được cải biến bề mặt. Theo một phương án, các hạt 46 được phủ bằng các hạt 56 nhỏ hơn mà bao quanh ít nhất là các phần của mỗi hạt chứa đồng 46 riêng biệt. Các hạt chứa đồng 46 là, về bản

chất, được khảm các hạt 56 nhỏ hơn. Các hạt 56 có thể toàn phủ có thể bao gồm toàn bộ mỗi hạt 46. Tuy nhiên, các hạt 56 có thể chỉ bao phủ các mảng của mỗi bề mặt của hạt 46 và vì thế các hạt 56 có thể không được phân phối đồng đều trên bề mặt của mỗi hạt 46. Trong cách sắp xếp đó, diện tích không được bao phủ của hạt 46 được để lộ ra trong bột nhão 32. Cấu trúc các hạt nhỏ hơn bao phủ các hạt lớn hơn này dẫn đến việc gia tăng diện tích bề mặt đo được từ diện tích bề mặt của các hạt không được phủ 46 đến diện tích bề mặt của các hạt đồng 46 được phủ bởi các hạt 56. Diện tích bề mặt có thể được tăng lên đến 20%. Ví dụ, hạt đồng không được phủ có diện tích bề mặt là $0,6 \text{ m}^2/\text{g}$ có thể được cải biến để có diện tích bề mặt ít nhất là $0,83 \text{ m}^2/\text{g}$. Như một ví dụ nữa, các hạt chứa đồng 46 có thể được cải biến để có diện tích bề mặt trong khoảng từ $0,83 \text{ m}^2/\text{g}$ đến $1,61 \text{ m}^2/\text{g}$. Theo một phương án, diện tích bề mặt tăng 1,5%. Vì thế, là một ví dụ, phạm vi tăng diện tích bề mặt là từ 1,5% đến 20%. Tuy nhiên, việc cải biến bề mặt cũng có thể làm cho tăng diện tích bề mặt lên đến 3000% so với diện tích bề mặt của hạt 46 không được phủ. Diện tích bề mặt có thể được đo bằng phương pháp BET. Diện tích bề mặt được đo bằng thiết bị phân tích diện tích bề mặt Micromeritics® Gemini VII Series 2390. Các hạt chứa đồng 46 và hạt nano 50 được khử khí trong hệ thống Micromeritics® FlowPrep 060 dưới luồng khí trơ (nitơ, N_2) ở 160°C trong 2 giờ. Quy trình khử khí làm cho các tạp chất như nước được khử hấp thụ khỏi bề mặt của bột và khí sẽ loại bỏ nó khỏi ống mẫu. Đơn vị Gemini sử dụng sự hấp thụ vật lý N_2 để đo đường đẳng nhiệt hấp phụ của bột. Các phép đo đa điểm của các đường đẳng nhiệt được sử dụng để tính diện tích bề mặt của bột bằng cách sử dụng phương trình Brunauer-Emmett-Teller. Việc kiểm soát diện tích bề mặt của các hạt chứa đồng 46 có thể kiểm soát sự hình thành mặt phân cách giữa ngón tay 26 và phiên 14.

Các hạt chứa đồng 46 có thể được phủ bằng các hạt 56 theo quy trình được thể hiện trên Fig. 9A. Các hạt 56 có thể là kim loại hoặc oxit/hydroxit của các kim loại khác nhau. Ví dụ, các hạt 56 có thể là đồng kim loại và/hoặc oxit/hydroxit của ít nhất một trong số đồng (Cu), niken (Ni), và mangan (Mn). Các hạt 56 có thể được pha tạp với phospho (P) do quá trình chúng được tổng hợp, được mô tả dưới đây. Các hạt 56 có thể được tạo mầm và phát triển trên bề mặt của các hạt chứa đồng 46. Như vậy, các hạt 56 có thể ít nhất là được liên kết yếu với bề mặt của mỗi một trong số các hạt chứa đồng 46. Các phương án của sáng chế không bị giới hạn ở việc liên kết giữa các hạt 56 và hạt khác bất kỳ trong bột nhão 32. Được nằm ở bề mặt, các hạt 56 được bố trí để bảo vệ các hạt chứa đồng 46 không

bị oxy hóa hoặc phản ứng không mong muốn khác trong quá trình sản xuất. Các thành phần của các hạt 56 có thể tạo thành ít nhất một phần của bề mặt phân cách giữa ngón tay 26 và phiến 14.

Tiếp tục tham chiếu đến Fig. 4, bột nhão 32 bao gồm hạt oxit thứ cấp 52. Tương tự các hạt 56, hạt oxit thứ cấp 52 cũng có thể tham gia vào việc khử hoặc ức chế sự oxy hóa đồng trong các hạt chứa đồng 46 trong khi cho phép khắc ăn mòn lớp phủ chống phản xạ 20. Hạt oxit thứ cấp 52 vì thế cho phép nối điện giữa đồng của ngón tay 26 và phiến 14 trong quá trình sản xuất, được mô tả dưới đây. Ngoài ra hoặc theo phương án khác, hạt oxit thứ cấp 52 có thể hỗ trợ việc tạo thành mặt phân cách giữa đồng trong ngón tay 26 và silic trong phiến 14 để ngăn chặn việc khuếch tán đồng vào silic trong khi sử dụng pin mặt trời 12. Hạt oxit thứ cấp 52 có thể khử kim loại thành phần của chúng trong quá trình gia nhiệt và sau đó có thể có khả năng khử ít nhất là hạt nano oxit/hydroxit 50 và/hoặc oxit/hydroxit của các hạt 56. Hơn nữa, hạt oxit thứ cấp 52 đơn độc hoặc kết hợp với một hoặc cả hai loại hạt nano 50 và các hạt 56 có thể tạo ra chất trợ thiêu kết lỏng trong quá trình sản xuất pin mặt trời 12. Quá trình thiêu kết pha lỏng là một kỹ thuật được sử dụng trong quá trình thiêu kết các hợp kim và vật liệu tổng hợp. Trong hỗn hợp chứa hai vật liệu, vật liệu thứ cấp sẽ có nhiệt độ nóng chảy thấp hơn vật liệu thứ nhất. Do đó, vật liệu này sẽ nóng chảy ở nhiệt độ xử lý nhất định, trong khi vật liệu kia vẫn ở trạng thái rắn. Khi vật liệu chính hòa tan trong pha lỏng, chất lỏng sẽ làm ướt các hạt, và trong cấu trúc được đóng gói chặt chẽ, tạo ra lực mao dẫn để đưa các hạt lại với nhau. Ngoài ra, chất lỏng cho phép tốc độ khuếch tán cao hơn, hỗ trợ quá trình thiêu kết nhanh hơn và nhiệt độ xử lý thấp hơn. Tỷ lệ của hạt nano 50 với hạt oxit thứ cấp 52 với các hạt 56 trong bột nhão 32 có thể ít nhất là kiểm soát một phần quá trình khắc ăn mòn giữa bột nhão 32 và lớp phủ chống phản xạ 20 trong khi nung.

Liên quan đến việc khử oxit trong bột nhão 32, hạt oxit thứ cấp 52 có thể là một hoặc nhiều oxit kim loại có năng lượng tự do Gibbs của sự tạo thành âm hơn ít nhất một của oxit của hạt nano 50 và oxit của các hạt 56. Ví dụ, hạt oxit thứ cấp 52 có năng lượng tự do Gibbs của sự tạo thành âm lớn hơn nhất một trong số oxit đồng (Cu_2O , CuO), oxit chì (PbO , PbO_2), hoặc oxit niken (NiO) ở nhiệt độ tại đó phiến 14 và bột nhão 32 được gia nhiệt trong quá trình sản xuất. Theo một phương án, hạt oxit thứ cấp 52 là các hạt oxit antimon (Sb_2O_3). Các hạt oxit thứ cấp 52 khác bao gồm, nhưng không bị giới hạn ở oxit thiếc (SnO , SnO_2), oxit telur (TeO), oxit mangan (MnO , MnO_2), phospho oxit (P_4O_{10} ,

PO₂), oxit bismut (Bi₂O₃), oxit crom (Cr₂O₃), và nhôm oxit (Al₂O₃). Việc sử dụng các oxit này để khử các oxit khác trong bột nhão 32 có thể phụ thuộc vào trạng thái oxy hóa của hạt oxit thứ cấp 52, nhiệt độ điểm nóng chảy của hạt oxit thứ cấp 52, nhiệt độ xử lý và áp suất riêng phần của môi trường khử xung quanh các hạt oxit thứ cấp 52. Hơn nữa, hạt oxit thứ cấp 52 có thể bao gồm hạt thủy tinh frit, chẳng hạn thủy tinh silicat chứa chì hoặc thủy tinh chứa kim loại khác mà chứa một hoặc nhiều thành phần oxit có năng lượng tự do Gibbs của sự tạo thành âm hơn ít nhất một trong số Cu₂O, CuO, PbO₂, PbO, và NiO. Các hạt thủy tinh frit làm ví dụ bao gồm thủy tinh borat, chẳng hạn thủy tinh B₂O₃-PbO-ZnO, và thủy tinh silicat, chẳng hạn thủy tinh PbO-SiO₂-B₂O₃-Al₂O₃.

Bột nhão 32 có thể bao gồm hạt oxit thứ cấp 52 với lượng từ 1 % khối lượng đến 15 % khối lượng. Hạt oxit thứ cấp 52 có thể có diện tích bề mặt trong khoảng từ 2 m²/g đến 2,5 m²/g. Tỷ lệ của hạt oxit thứ cấp 52 với hạt nano 50 có thể xác định lượng oxit được khử và/hoặc lượng chất trợ thiêu kết phát triển trong khi gia nhiệt. Theo một phương án, tỷ lệ của hạt oxit thứ cấp 52 với hạt nano 50 trong khoảng từ 0,50 đến 16,96 khối lượng. Theo một phương án khác, tỷ lệ của hạt oxit thứ cấp và các hạt nano chứa oxit kim loại trong khoảng từ 1,50 đến 3,51 khối lượng. Khi được sử dụng trong bản mô tả này, “về cơ bản bao gồm” có nghĩa là không có các nguyên tố hoặc các hạt khác được bổ sung có chủ ý vào bột nhão. Tuy nhiên, hàm lượng tạp chất của các nguyên tố khác trong oxit hoặc kim loại tạo ra từ bột hoặc quy trình chế tạo được dự tính.

Tham chiếu đến các Fig. 4 và 5, khi bột nhão 32 được phân tán, nền 40 và bột nhão 32 được lộ ra với nhiệt độ từ 20 °C đến 400 °C hoặc, cụ thể hơn, từ 20 °C đến 200 °C để làm khô. Trong quá trình làm khô, ít nhất một số chất mang hữu cơ 44 được loại ra khỏi bột nhão 32. Điều này được thể hiện dưới dạng giản đồ trong Fig. 5 bằng các mũi tên 54.

Sau khi làm khô, các hạt 42 của bột nhão 32 được nung trong quá trình mạ kim loại để tạo ra ngón tay 26 và/hoặc bộ phận dẫn phía sau 30. Theo một phương án, quá trình sản xuất pin mặt trời 12, bao gồm bước làm khô và nung, được hoàn tất trong không khí. Có nghĩa là, môi trường trong khi làm khô và nung không được kiểm soát hoặc cải biến bằng cách bổ sung khí trơ hoặc khí khử. Trong khi nung, các hạt 42 được phơi ra với nhiệt độ từ 600°C đến 930°C trong không khí trong thời gian từ 0,8 giây đến 10 giây phụ thuộc vào profin nhiệt độ của lò nung, tốc độ băng tải và thành phần của bột nhão 32. Ở nhiệt độ và thời gian này, theo một phương án, ít nhất một trong số các chất kết dính hữu cơ còn lại từ

chất mang hữu cơ 44 bị phân hủy và tạo thành môi trường khử khu trú xung quanh các hạt 42. Được tin rằng môi trường này khử các hạt oxit thứ cấp 52. Việc khử ít nhất một số hạt oxit thứ cấp 52 tạo ra ít nhất một kim loại từ hạt oxit thứ cấp 52. Ví dụ, thành phần của chất mang hữu cơ 44 được tin là khử oxit antimon (Sb_2O_3) thành antimon kim loại (Sb). Như là một ví dụ bổ sung, chất mang hữu cơ 44 cũng có thể khử oxit chì thành chì (Pb).

Ngược lại, kim loại từ hạt oxit thứ cấp 52 khử ít nhất một số hạt nano 50 và/hoặc các hạt 56 trên các hạt chứa đồng 46. Tiếp tục ví dụ với Sb, Sb kim loại được tạo ra khử oxit của hạt nano 50 và của các hạt 56. Khi có mặt PbO, Sb kim loại có thể tạo ra Pb bằng cách khử PbO, và Pb có thể hỗ trợ việc khử oxit đồng. Vì thế, theo đặc điểm của các hạt 42 trong bột nhão 32, phản ứng khử kiểu dòng thác có thể được kết tủa bằng cách phân hủy chất mang hữu cơ 44. Trong dòng thác khử đó, một oxit được khử thành kim loại. Kim loại đó lần lượt khử được một oxit khác trong hỗn hợp các hạt 42. Phụ thuộc vào nhiệt độ; thành phần và thể tích của hạt nano 50, hạt oxit thứ cấp 52, và các hạt 56; và tỷ lệ của chất mang hữu cơ 44 trong bột nhão 32, phản ứng khử kiểu dòng thác có thể khử toàn bộ oxit trong bột nhão 32 thành kim loại thành phần của chúng. Điều này có thể bao gồm oxit đồng bất kỳ trong bột nhão 32. Trong trường hợp đó, bột nhão chứa phần lớn oxit kim loại, chứa phức hợp gồm các kim loại khác nhau.

Tại nhiệt độ mà các hạt 42 được lộ ra trong khi nung, khử hạt nano 50 và hạt oxit thứ cấp 52 có thể tạo ra chất trợ thiêu kết lỏng và có thể khử và/hoặc bọc các hạt chứa đồng 46. Kim loại từ hạt nano 50 và hạt oxit thứ cấp 52 có thể phản ứng với lớp phủ chống phản xạ 20. Tổ hợp của các hạt này được coi là tạo ra chất khắc ăn mòn.

Như được thể hiện trên các Fig. 5 và 6, trong khi nung, các hạt 42 thiêu kết để tạo ra ngón tay 26 có chiều rộng, W_1 , và chiều cao, H_1 . Nói chung, các kích thước này nhỏ hơn chiều rộng tương ứng, W_2 và chiều cao, H_2 , của bột nhão 32 (xem Fig. 4) sau khi phân phối, được thể hiện, ví dụ trên Fig. 4. Sau khi nung/nung kết, chiều rộng W_2 của bột nhão 32 co lại bằng chiều rộng, W_1 , của ngón tay 26. Ngoài ra, chiều cao H_2 của bột nhão 32 được giảm từ việc nung/nung kết thành H_1 . Việc giảm chiều cao ít nhất một phần là do phản ứng/ăn mòn của lớp phủ chống phản xạ 20, như được mô tả thêm dưới đây. Các kích thước, ví dụ, H_1 và W_1 , được kiểm soát bởi các yếu tố bao gồm, ví dụ, nếu in lụa, (i) cài đặt máy in (ví dụ, áp suất và tốc độ của ống lăn), (ii) độ lưu biến và thành phần của bột nhão, (iii) thông số của lưới (ví dụ, kích thước lỗ), và (iv) điều kiện nung.

Trong khi bột nhão 32 ban đầu bao gồm các hạt oxit 50 và 52, ngón tay 26 là kim loại do một số hoặc toàn bộ các hạt oxit được khử trong khi nung bột nhão 32. Ngón tay 26 có thể không chứa oxit bên trong, ngoại trừ bên ngoài, bề mặt được tiếp xúc với không khí của ngón tay 26 có thể tạo ra oxit (ví dụ vốn có CuO và/hoặc Cu_2O , Sb_2O_3 , v.v) khi được lộ ra với không khí. Trong quá trình nung kết, các hạt và các sản phẩm khử, cụ thể là kim loại từ hạt nano 50 và kim loại từ hạt oxit thứ cấp 52 cùng với các hạt chứa đồng 46, thâm nhập lớp phủ chống phản xạ 20. Trong quá trình nung kết, kim loại, hạt nano 50, và/hoặc hạt oxit thứ cấp 52 và/hoặc kim loại của các hạt oxit tiếp xúc với lớp phủ chống phản xạ 20 và có thể tạo ra sản phẩm phản ứng của kim loại và vật liệu của lớp phủ 20. Ví dụ, trong khi lớp phủ chống phản xạ 20 là SiN , sản phẩm phản ứng có thể bao gồm silixit kim loại và/hoặc kim loại nitrua. Các sản phẩm phản ứng có thể tạo ra mặt phân cách 58 (thường được chỉ ra trên Fig. 6) giữa đồng hoặc hạt chứa đồng của ngón tay 26 và phiến 14 và có thể bao gồm silixit. Sau khi thâm nhập vào lớp phủ chống phản xạ 20, phức hợp của kim loại từ các hạt oxit 50, 52, và 56 và các hạt chứa đồng 46 mà cuối cùng tạo thành ngón tay 26 sẽ nối điện với vùng kiểu p 16 của phiến 14. Mặt phân cách 58 có thể ngăn chặn đồng không bị khuếch tán vào silic của phiến 14 trong quá trình chế tạo và sử dụng pin mặt trời 12. Mặt phân cách 58 có thể tạo thành ranh giới giữa đồng hoặc hạt chứa đồng và silic của phiến. Thành phần của ranh giới hạt ở mặt phân cách 58 có thể bao gồm chì, niken, đồng, coban, mangan, antimon, telua, và bismut và/hoặc kim loại khác được phát hiện trong hạt nano 50 hoặc hạt oxit thứ cấp 52. Theo một phương án, bộ phận dẫn phía sau 30 (ví dụ nhôm) được nung đồng thời với bột nhão 32 trong không khí. Vì thế, cả ngón tay 26 và bộ phận dẫn phía sau 30 có thể được nung đồng thời hoặc riêng biệt. Lưu ý là chiều rộng mục tiêu, W_1 , của ngón tay 26 được giảm, diện tích bề mặt của các hạt chứa đồng có thể cũng giảm.

Như được mô tả với việc tham chiếu đến Fig. 4, bột nhão 32 bao gồm nhiều hạt 42. Mỗi một trong số các hạt này có thể được tổng hợp trước khi đưa chúng vào chất mang hữu cơ 44. Như là một ví dụ, hạt nano 50 có thể được tổng hợp từ nhiều muối kim loại khác nhau. Các Fig. 7A và 7B minh họa sơ đồ làm ví dụ để tổng hợp hạt nano 50 mà có thể được bao gồm trong bột nhão 32.

Trong quy trình làm ví dụ được tổng hợp trong Fig. 7A, hạt nano Cu/Ni/Pb 50 được tổng hợp. Như được thể hiện, trong thiết bị phản ứng 60, dòng nước thứ nhất 62 của đồng

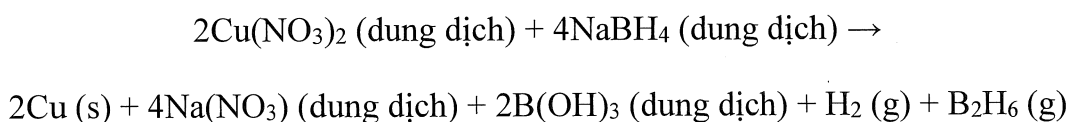
nitrat và amoni hydroxit được bổ sung và khuấy. Amoni hydroxit làm cho đồng hydroxit và phức hợp kim loại amoniac kết tủa. Dòng thứ hai 64 của thể phân tán trong nước của natri bohydrua được bổ sung vào thiết bị phản ứng 60 ở tỷ lệ định trước và dung dịch được khuấy. Phản ứng tạo ra hạt nano oxit đồng/hydroxit 50.

Khi muốn có các lớp phủ bổ sung trên lõi đồng oxit/hydroxit, các dòng bổ sung được thêm vào thiết bị phản ứng 60 có chứa các hạt nano oxit/hydroxit đồng. Ví dụ, khi muốn có lớp phủ oxit niken trên hạt nano oxit đồng/hydroxit, dòng thứ ba 66 chứa dung dịch niken clorua và dung dịch natri bohydrua được bổ sung vào thiết bị phản ứng 60 và khuấy. Bước này phủ hạt nano oxit đồng/hydroxit bằng lớp oxit niken. Lớp thứ ba là oxit chì/hydroxit được phủ trên lớp oxit niken bằng cách bổ sung dòng thứ tư 68 là dung dịch chì nitrat vào thiết bị phản ứng 60. Bước này tạo ra lớp phủ oxit chì/hydroxit trên oxit niken.

Sau đây là các phản ứng có thể xảy ra và phản ứng phụ xảy ra trong quá trình tổng hợp được minh họa trên Fig. 7A.

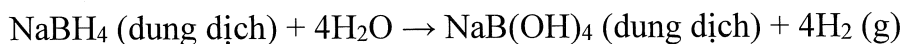
Phương trình 1.

Phản ứng tỷ lệ chính diễn ra trong lò phản ứng.



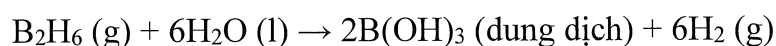
Phương trình 2.

Giả sử NaBH_4 dư phản ứng với H_2O . Trong một quy trình, thấp hơn lượng tỷ lệ được sử dụng.



Phương trình 3.

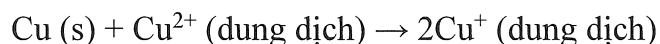
B_2H_6 giả sử phản ứng hoàn toàn với H_2O và toàn bộ Cu khử thành Cu_2O bằng lượng dư NiCl_2 .



Phương trình 4.

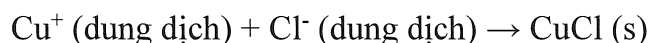
Phương trình 4a.

Cu có bản chất đa hóa trị, vì thế có thể phản ứng với các ion Cu^{2+} .



Phương trình 4b.

Cu^+ có thể phản ứng với ion Cl^- .



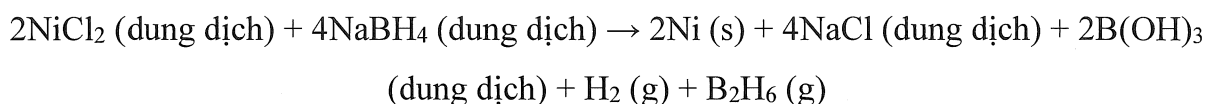
Phương trình 4c.

CuCl có thể tạo ra Cu_2O .



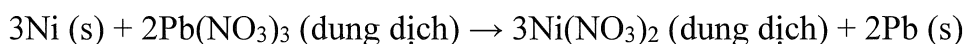
Phương trình 5.

NiCl_2 phản ứng với NaBH_4 để phủ các hạt Cu_2O bằng Ni.



Phương trình 6.

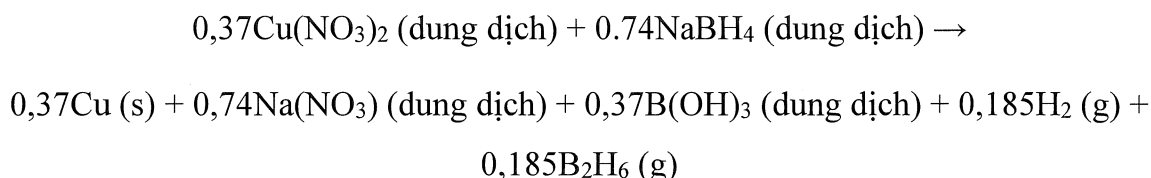
Phản ứng thế diễn ra khi $\text{Pb(NO}_3)_3$ được bổ sung.



Cả lớp vỏ Ni và Pb có thể oxy hóa thành NiO và PbO. Nhỏ hơn lượng tỷ lệ có thể được sử dụng trong phản ứng. Nếu vậy, NaBH_4 được giả sử là hệ số giới hạn, và Phương trình 1 trở thành Phương trình 7, và Phương trình 5 trở thành Phương trình 8.

Phương trình 7.

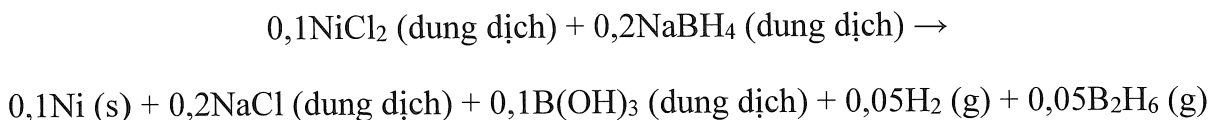
Phản ứng phi tỷ lệ diễn ra trong thiết bị phản ứng theo mẻ.



Sự cân bằng khối lượng cũng giả sử không có NaBH_4 dư phản ứng với H_2O . Phản ứng trong Phương trình 2 được giả sử là không xảy ra.

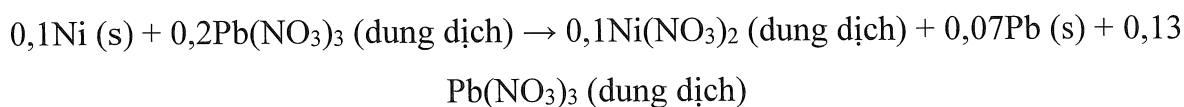
Phương trình 8.

Phản ứng phi tỷ lượng đối với NiCl_2 phản ứng với NaBH_4 để bọc các hạt Cu_2O bằng Ni.



Phương trình 9.

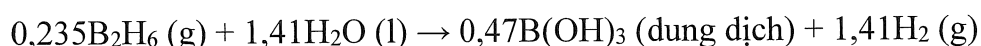
Phản ứng thế diễn ra khi $\text{Pb(NO}_3)_2$ được bổ sung.



Đối với lượng phi tỷ lượng, Phương trình 3 trở thành Phương trình 10.

Phương trình 10.

Phản ứng của B_2H_6 với H_2O .



Sau khi bổ sung và phản ứng, ở 70, hạt nano 50 được tách khỏi dịch nổi bằng cách ly tâm. Và, tại 72, chất rắn còn lại, mà là hạt nano Cu/Ni/Pb, được bổ sung. Hạt nano 50 có thể được nghiền nát để phá vỡ khối kết tụ và sau đó được sàng và sẵn sàng để sử dụng trong bột nhào 32.

Fig. 8 mô tả ảnh từ kính hiển vi điện tử truyền qua của ba hạt nano Cu/Ni/Pb khác nhau được sản xuất theo quy trình được minh họa trên in Fig. 7A. Như được thể hiện, bản đồ tia x phân tán năng lượng đối với Cu được thể hiện trên (b), (h), và (n); đối với oxy được thể hiện trên (e), (i), và (p); đối với Ni được thể hiện trên (d), (j), và (p); đối với Cl được thể hiện trên (e), (k), và (q); và đối với Pb được thể hiện trên (f), (l), và (r). Các bản đồ nguyên tố nói chung chỉ ra sự có mặt và sự phân bố đồng đều của Cu, O và Ni trong hạt nano 50. Pb và Cl dường như có sự phân bố không đều hơn.

Quy trình tương tự được minh họa trên Fig. 7B. Tuy nhiên, hạt nano 50 đã tạo ra hạt nano Ni/Ni/Pb. Có nghĩa là, lõi của hạt nano là oxit niken với lớp phủ oxit niken và sau đó có một lớp phủ oxit chì. Việc phát triển niken oxit trong hai giai đoạn sẽ tạo ra kích thước hạt lớn hơn. Về vấn đề đó, dòng đầu tiên 74 niken nitrat và amoni hydroxit được thêm vào thiết bị phản ứng 60. Sau đó, dòng thứ hai 64, sau đó là dòng thứ ba 66 và dòng

thứ tư 68 được thêm vào thiết bị phản ứng 60 theo cách tương tự như được mô tả liên quan đến Fig. 7A. Sau khi ly tâm 70 và làm khô 72, hạt nano Ni/Ni/Pb 50 sẵn sàng để bổ sung vào bột nhão 32.

Tham chiếu đến Fig. 9A, theo một phương án, các hạt chứa đồng 46 được cải biến bề mặt bằng oxit kim loại trước khi trộn bột nhão 32. Trong sơ đồ của Fig. 9A, các hạt chứa đồng 46 được đặt trong thiết bị phản ứng 76. Các hạt chứa đồng 46 có thể được xử lý trước bằng axit oleic hoặc các hạt 46 có thể không được xử lý trước khi đặt trong thiết bị phản ứng 76. Muối kim loại (ví dụ niken nitrat) được hòa tan trong dung dịch etylen glycol-nước chứa polyvinylpyrrolidon. Dung dịch của muối kim loại được hòa tan và etylen glycol được bơm vào thiết bị phản ứng 76 làm dòng thứ nhất 80 và được trộn với thể phân tán trong nước của chất khử, chẳng hạn natri hypophosphit (NaPO_2H_2), làm dòng thứ hai 82. Dung dịch tiếp tục được khuấy và gia nhiệt trong thiết bị phản ứng 76 trong thời gian định sẵn. Các ion kim loại được khử ở nhiệt độ tăng, và phản ứng thu được tạo ra dung dịch bột chứa đồng được phủ kim loại hoặc oxit/hydroxit kim loại. Như là một ví dụ, trên Fig. 9A, các hạt chứa đồng 46 được phủ bằng oxit niken và/hoặc niken hydroxit. Các hạt 56 có thể phủ hoặc gắn các hạt 46. Lưu ý là oxit/hydroxit niken có thể bao gồm phospho và có thể phụ thuộc vào nồng độ của chất khử được bổ sung vào thiết bị phản ứng 76. Các hạt 46 được phủ được tách khỏi dung dịch tại 84 (ví dụ thông qua ly tâm) và sau đó được làm khô ở 86.

Khi muối niken được mô tả tham chiếu đến Fig. 9A, các muối kim loại khác có thể được sử dụng để xử lý các hạt chứa đồng 46. Như là các ví dụ, lớp phủ trên các hạt chứa đồng 46 có thể bao gồm coban (Co) và/hoặc mangan (Mn), trong số các kim loại khác. Bề mặt của các hạt chứa đồng 46 có thể được khảm các hạt 56 bằng cách bổ sung các hạt chứa đồng 46 vào thiết bị phản ứng 76. Lượng lớp phủ 56 có thể được kiểm soát bằng thời gian mà hỗn hợp vẫn ở trên nhiệt độ cụ thể. Nói chung, khi thời gian và nhiệt độ tăng, diện tích bề mặt của hạt được khảm các hạt chứa đồng 46 cũng tăng. Ví dụ, tổng diện tích bề mặt của các hạt chứa đồng 46 có bề mặt được phủ hạt tăng. Nói chung, sự gia tăng diện tích bề mặt của hạt được phủ các hạt chứa đồng 46 ít nhất là 10% và có thể cao hơn 3000% so với các hạt 46 không được phủ.

Mỗi một trong số các hạt 42 được mô tả ở trên sau đó được trộn với chất mang hữu cơ 44. Tham chiếu đến Fig. 9B, chất mang hữu cơ 44, hạt nano 50, hạt oxit thứ cấp 52, và

các hạt chứa đồng 46 được trộn để tạo ra bột nhão 32 có thể in lụa. Như được thể hiện trên Fig. 9B, chất mang hữu cơ 44 bao gồm polyvinylpyrrolidon, mà được hòa tan trong dung môi (ví dụ polyetylen glycol) và được bổ sung vào máy trộn chân không 92 tại 90. Các hạt nano, chẳng hạn hạt nano Cu/Ni/Pb 50 từ Fig. 9A cũng được đặt trong máy trộn chân không 92 tại 94. Hạt nano 50 và chất mang hữu cơ 44 được trộn trong chân không trong thời gian định trước. Tại 96, hạt oxit thứ cấp 52 được đặt trong máy trộn chân không 92. Hỗn hợp đó sau đó được trộn trong chân không. Tại 98, các hạt chứa đồng 46 được đặt trong máy trộn chân không 92 và được trộn trong điều kiện chân không. Khi có mặt, tại 100, các hạt chứa đồng 46 bổ sung được đặt trong máy trộn chân không 92 và được trộn trong điều kiện chân không. Trong phương án được thể hiện trên Fig. 9B, các hạt 42 trong các dòng 94, 96, 98, 100 được bổ sung vào máy trộn chân không 92 trong thứ tự định trước theo diện tích bề mặt. Theo phương án làm ví dụ, các hạt 42 có diện tích bề mặt lớn nhất được bổ sung đầu tiên.

Khi tất cả chất mang 44 và các hạt 42 đã được bổ sung vào máy trộn chân không 92, hỗn hợp được trộn trong thời gian định trước trong điều kiện chân không. Tại 102, hỗn hợp sau đó được nghiền. Bước này có thể bao gồm việc sử dụng máy nghiền ba trục, máy nghiền bi hoặc thiết bị phân tán hạt khác. Quy trình nghiền giúp phá vỡ khối kết tụ hạt và hỗ trợ việc đồng nhất và loại khí của hỗn hợp. Sau khi nghiền lần, tại 104, hỗn hợp được già hóa ở nhiệt độ tăng (ví dụ 100 °C) trong khoảng thời gian định trước để cải thiện sự thấm ướt của chất mang hữu cơ 44 trên các hạt 42. Sau đó, hỗn hợp này có thể được trải qua một vòng nghiền lần khác ở 106 và chất mang hữu cơ 44 bổ sung (không được thể hiện) có thể được thêm vào để đạt được độ nhớt xác định trước trước khi bột nhão 32 sẵn sàng sử dụng.

Để hiểu rõ hơn sáng chế, các ví dụ không nhằm giới hạn sau đây được đề xuất.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Trong phần ví dụ dưới đây, bột có thể được pha tạp với phospho (P) hoặc nguyên tố khác. Điều này được chỉ ra bằng ký hiệu Cu/ký hiệu nguyên tố “(?) P”, chẳng hạn như “Cu/Ni(?)P”, cho biết một hạt chứa đồng với niken trên bề mặt của nó có thể được pha tạp với phospho. Nguyên liệu đồng hoặc niken (ở dạng kim loại, oxit, hoặc hydroxit) được coi

là được pha tạp với P. Các phương án của sáng chế không bị giới hạn ở các chất được pha tạp với P hoặc với nguyên tố khác bất kỳ.

Ví dụ 1. Tổng hợp các hạt chứa đồng với niken

Tổng hợp hạt đồng với bề mặt được phủ hạt chứa niken được minh họa bằng ví dụ sau. 4,50 g polyvinylpyrrolidon (PVP) MW 40000 được hòa tan trong 300 mL etylen glycol trong bình 2000 mL. Hỗn hợp được khuấy bằng máy trộn có cánh khuấy. Hỗn hợp được điều chế vào ngày trước khi sử dụng. 144,78 g (0,5 mol) niken nitrat hexahydrat được bổ sung vào hỗn hợp PVP/etylen glycol và được trộn cho đến khi hòa tan. 381,24 g (6,0 mol) bột đồng (Ví dụ 1 được tiến hành riêng biệt với mỗi loại bột đồng 1 sau đây). 10 μm đến 22 μm , 2). 7,5 μm đến 14,7 μm , 3.) 1,8 μm đến 7,7 μm , và 4.) 1,2 μm đến 3,2 μm) được bổ sung từ từ vào hỗn hợp. Hỗn hợp được trộn liên tục giữa các lần bổ sung để ngăn việc tạo thành các cục. Hỗn hợp được khuấy trong 30 phút bằng máy trộn có cánh khuấy. 216,24 g (2,0 mols) natri hypophosphit monohydrat và 150 mL nước cất được bổ sung vào hỗn hợp. Hỗn hợp được khuấy trong 30 phút bằng máy trộn có cánh khuấy.

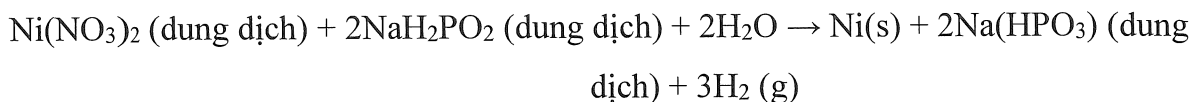
Một nắp lá nhôm được đặt xung quanh miệng cốc có lỗ cho máy trộn có cánh khuấy. Với cốc đặt trên bếp điện, nhiệt độ bếp điện tăng lên 350°C và hỗn hợp được đun nóng trong 40 phút trong khi khuấy liên tục bằng máy trộn có cánh khuấy. Hỗn hợp được phép đạt đến nhiệt độ 90 °C. Sau 40 phút, bếp điện được tắt.

Hỗn hợp được làm nguội và được chuyển sang vật chứa ly tâm. Nguyên liệu được ly tâm ở tốc độ 3000 vòng/phút trong 3 phút. Dịch nổi được bỏ vào một chai chất thải. Thêm nhiều hỗn hợp vào vật chứa ly tâm (hoặc nước cất nếu cốc hỗn hợp đã được làm rỗng). Khuấy và lắc kỹ chai. Lặp lại quá trình ly tâm và gạn cho đến khi phần nổi phía trên trong suốt và không màu. Các hạt rắn được đặt trên một đĩa sấy khô và để khô qua đêm.

Các hạt chứa đồng khô được phủ bằng oxit /hydroxit niken được nghiền bằng máy nghiền và được sàng qua rây 325 lưới.

Phương trình sau đây được cho là phản ứng xảy ra trong quá trình tổng hợp. Oxit niken sẽ lắng phủ lên bề mặt của đồng.

Phương trình 1. Phản ứng tỷ lệ chính diễn ra trong thiết bị phản ứng theo mẻ. Nickel nitrat là chất phản ứng giới hạn tốc độ.



Ví dụ 2. Tổng hợp hạt chứa đồng với coban

Tổng hợp hạt đồng với bề mặt được phủ hạt chứa coban được minh họa bằng ví dụ sau. Kim loại được sử dụng trong lớp phủ có thể được thay đổi bằng cách thay thế muối kim loại trong Ví dụ 1 bằng coban nitrat hexahydrat. 4,50 g polyvinylpyrrolidon (PVP) 40000 được hòa tan trong 300 mL etylen glycol trong bình 2000 mL. Hỗn hợp được khuấy bằng máy trộn có cánh khuấy. Hỗn hợp được điều chế vào ngày trước khi sử dụng. Bổ sung 145,52 g (0,5 mol) coban nitrat hexahydrat vào hỗn hợp PVP/etylen glycol và trộn cho đến khi hòa tan. 381,24 g (6,0 mol) bột đồng (Ví dụ 2 được thực hiện riêng rẽ bằng cách sử dụng bột đồng với sự phân bố cỡ hạt từ 10 µm đến 22 µm và 1,2 µm đến 3,2 µm) được bổ sung từ từ vào hỗn hợp. Hỗn hợp được trộn liên tục giữa các lần bổ sung để ngăn việc tạo thành các cục. Hỗn hợp được khuấy trong 30 phút bằng máy trộn có cánh khuấy. 216,24 g (2,0 mols) natri hypophosphit monohydrat và 150 mL nước cất được bổ sung vào hỗn hợp. Hỗn hợp được khuấy trong 30 phút bằng máy trộn có cánh khuấy.

Một nắp lá nhôm được đặt xung quanh miệng cốc có lỗ cho máy trộn có cánh khuấy. Với cốc đặt trên bếp điện, nhiệt độ bếp điện tăng lên 350°C và hỗn hợp được đun nóng trong 40 phút trong khi khuấy liên tục bằng máy trộn có cánh khuấy. Với bếp điện được thiết lập ở 350°C, hỗn hợp được phép đạt đến nhiệt độ mong muốn là 90°C. Sau 40 phút bếp điện được tắt. Hỗn hợp được làm mát.

Hỗn hợp được chuyển sang vật chứa ly tâm và được ly tâm ở 3000 vòng/phút trong 3 phút. Dịch nổi được bỏ vào một chai chất thải. Lặp lại quá trình ly tâm và gạn cho đến khi phần nổi phía trên trong suốt và không màu. Hạt rắn được đổ vào đĩa làm khô và được làm khô qua đêm. Bột đồng được khảm hạt khô được nghiền bằng máy nghiền và sàng qua rây loại lỗ sàng 325.

Ví dụ 3. Tổng hợp các hạt chứa đồng với mangan

Tổng hợp hạt đồng với bề mặt được phủ hạt chứa mangan được minh họa bằng ví dụ sau. Kim loại được sử dụng trong lớp phủ có thể được thay đổi bằng cách thay thế muối kim loại trong Ví dụ 1 bằng with mangan nitrat tetrahydrat. 4,50 g polyvinylpyrrolidon (PVP) 40000 được hòa tan trong 300 mL etylen glycol trong bình 2000 mL. Hỗn hợp được

khuấy bằng máy trộn có cánh khuấy. Hỗn hợp được điều chế vào ngày trước khi sử dụng. 125,51 g (0,5 mol) mangan nitrat tetrahydrat được bổ sung vào hỗn hợp PVP/etylen glycol và được trộn cho đến khi hòa tan. 381,24 g (6,0 mol) bột đồng (Ví dụ 3 được thực hiện riêng rẽ với mỗi một trong số bột đồng có kích thước 0 μm đến 22 μm và bột đồng có kích thước 1,2 μm đến 3,2 μm được bổ sung từ từ vào hỗn hợp. Hỗn hợp được trộn liên tục giữa các lần bổ sung để ngăn việc tạo thành các cục. Hỗn hợp được khuấy trong 30 phút bằng máy trộn có cánh khuấy. 216,24 g (2,0 mols) natri hypophosphit monohydrat và 150 mL nước cất được bổ sung vào hỗn hợp. Hỗn hợp được khuấy trong 30 phút bằng máy trộn có cánh khuấy.

Một nắp lá nhôm được đặt xung quanh miệng cốc có lỗ cho máy trộn có cánh khuấy. Với cốc đặt trên bếp điện, nhiệt độ bếp điện tăng lên 350°C và hỗn hợp được đun nóng trong 40 phút trong khi khuấy liên tục bằng máy trộn có cánh khuấy. Trong một ví dụ, với bếp điện được thiết lập ở nhiệt độ 350 °C, hỗn hợp được phép đạt đến nhiệt độ 90 °C. Sau 40 phút, bếp điện được tắt, và hỗn hợp được làm nguội.

Hỗn hợp được chuyển sang vật chứa ly tâm và được ly tâm ở 3000 vòng/phút trong 3 phút. Dịch nổi được bỏ vào một chai chất thải. Lặp lại quá trình gạn và ly tâm cho đến khi phần nổi phía trên trong suốt và không màu. Hạt rắn được đổ vào đĩa làm khô và được làm khô qua đêm.

Bột khô được nghiền bằng máy nghiền và được sàng qua rây loại 325 lưới.

Ví dụ 4. Cải biến diện tích bề mặt của các hạt chứa đồng bằng niken

Diện tích bề mặt của bột đồng được phủ được kiểm soát bằng cách thay đổi thời gian phản ứng trong quá trình tổng hợp. Diện tích bề mặt của bột được phủ được liên quan trực tiếp đến thời gian mà hỗn hợp phản ứng vẫn giữ trên nhiệt độ phản ứng. Khi các chất phản ứng vẫn ở trên nhiệt độ đó, lượng nguyên liệu lắng phủ tăng lên làm tăng diện tích bề mặt của bột đồng. Fig. 10 kết hợp với bảng 1 thể hiện sự ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian phản ứng lên diện tích bề mặt của bột đồng kích thước 1,2 μm đến 3,2 μm được phủ phù hợp với Ví dụ 1.

Bảng 1

Nhiệt độ bếp điện được tắt (°C)	Nhiệt độ đỉnh (°C)	Thời gian trên 85°C (phút)	Diện tích bề mặt (m ² /g)	Oxy hóa (XRD: Cu ₂ O (111)/Cu(111))
không được phủ	N/A	N/A	0,60	0,001
85	90	14	0,83	0,011
90	96	27	1,59	0,001
95	100	31	2,33	0,001
100	104	32	3,14	0,000

Nhiệt độ đỉnh trong thiết bị phản ứng và thời gian hỗn hợp phản ứng vẫn trên 85°C làm tăng diện tích bề mặt của bột đồng được phủ. Trong ví dụ, mức tăng là 38% ở 90°C lên đến mức tăng gấp 5 lần ở 104 °C.

Diện tích bề mặt của bột được phủ cũng liên quan đến nhiệt độ tối đa mà chất phản ứng trải qua trong quá trình phản ứng. Phản ứng sử dụng bột đồng mịn (1,2 – 3,2 micron) với lớp phủ axit oleic dễ bị tăng vọt nhiệt độ, với bột đồng với lớp phủ axit oleic tạo bột trong quá trình phản ứng. Nhiệt độ đỉnh được kiểm soát bởi thời gian mà bếp điện được tắt.

Các sản phẩm phụ dạng khí bị giữ lại bên trong lớp bột. Ở nhiệt độ đỉnh thấp hơn 90 °C, lớp bột xẹp xuống trong quá trình làm mát. Ngoài bột có diện tích bề mặt, nguyên liệu cũng thể hiện các dấu hiệu oxy hóa (xem bảng 1). Đối với các phản ứng có nhiệt độ đỉnh cao hơn, lớp bột vẫn còn trên hỗn hợp phản ứng cho đến khi nguyên liệu sẵn sàng được ly tâm.

Khi phản ứng nhiệt độ vượt quá 100 °C, lớp bột xẹp xuống khi phản ứng đạt đến nhiệt độ đỉnh, vì thế, làm giảm độ dày của lớp bột. Việc giảm độ dày này, cùng với tốc độ khuấy nhanh hơn một chút, dẫn đến tốc độ làm nguội nhanh hơn cho phản ứng này. Khi đường cong gia nhiệt và làm nguội đối với các phản ứng quy mô nhỏ là trong phạm vi vài độ (tức là, có thể được xếp chồng trực tiếp), diện tích bề mặt đo được của Cu được phủ (bao gồm 2 mẻ) là trong phạm vi 0,002 m²/g. Tuy nhiên, ngay cả với các điều kiện làm nóng và làm mát phù hợp, khoảng thời gian trễ (~ 1,5 giờ) trước khi nguyên liệu được ly tâm cho phép các khí vẫn bị giữ lại trong bột trong một thời gian dài hơn. Do đó, diện tích bề mặt của nguyên liệu được phủ được phát hiện là tăng khoảng 0,126 m²/g.

Tính năng của bột nhão bao gồm bột đồng chưa được cải biến bằng hạt nano Ni/Ni/Pb và các hạt Sb_2O_3 được thể hiện trên các Fig. 11A-11D. Các hình ảnh này minh họa sự ảnh hưởng trung bình của việc lão hóa tăng tốc ở 200 °C trên (a) mật độ dòng ngắn mạch, J_{sc} , (Fig. 11A), (b) điện thế mạch hở, V_{oc} (Fig. 11B) (b) hệ số lấp đầy, FF, (Fig. 11C), và (d) và hiệu suất, η (Fig. 11D). Bột nhão 1 được phối chế với Sb_2O_3 và hạt nano Ni/Ni/Pb 100%. Xem bảng 12 (dưới đây). Bột đồng để yên không được phủ. Các kết quả được chuẩn hóa với các giá trị ban đầu của chúng tại 0,01 giờ. Thanh sai số là độ lệch chuẩn của kết quả từ 5 pin.

Các ví dụ 5-9. Phương pháp kiểm tra độ bền của các thiết bị được mạ kim loại bằng bột nhão chứa đồng

Độ bền của pin mặt trời được nung được xác định bằng cách theo dõi điện thế mạch hở (V_{oc}) của thiết bị. V_{oc} không đổi chỉ ra rằng đồng không thâm nhập vào silic. Để tăng tốc độ thử nghiệm, pin được tiếp xúc với nhiệt độ cao. Một phương pháp thử nghiệm theo các bài báo học thuật được đánh giá ngang hàng đối với các điểm tiếp xúc mạ điện bằng đồng trên pin mặt trời silic. Thử nghiệm gây ứng suất nhiệt đối với pin ở nhiệt độ cao từ 150 °C đến 300 °C để đánh giá độ tin cậy của pin trong một khoảng thời gian ngắn hơn nhiều. Các nhiệt độ này cao hơn phạm vi nhiệt độ hoạt động tối đa của pin mặt trời là từ 80 °C đến 90 °C. Một trong những hạn chế của phương pháp thử nghiệm này là nhiệt độ thử nghiệm đủ cao để có thể xảy ra tương tác hóa học giữa các vật liệu, điều này sẽ không bao giờ được nhìn thấy trong quá trình hoạt động bình thường của pin mặt trời. Việc khuếch tán đồng vào môi nôi sẽ dẫn đến giảm V_{oc} .

Ví dụ 5. Ảnh hưởng của thành phần hạt nano lên độ bền

Ba bột nhão chứa đồng được so sánh. Các bột nhão 2, 3, và 4 được phối chế như được thể hiện trên bảng 2 (dưới đây). Thành phần hạt nano của bột nhão lần lượt bao gồm (i) 100% hạt nano Cu/Ni/Pb, (ii) 50% hạt nano Cu/Ni/Pb và 50% hạt nano Ni/Ni/Pb, và (iii) 100% hạt nano Ni/Ni/Pb. Fig. 12A minh họa sự ảnh hưởng của thành phần hạt nano đối với năng suất PV (tức là, điện thế mạch hở, V_{oc}) sau khi pin được tạo ứng suất nhiệt ở 200 °C trong thời gian lên đến 110 giờ đối với pin được làm từ mỗi một trong số các bột nhão 2, 3, và 4. Thanh sai số trên Fig. 12A là độ lệch chuẩn giữa 4 đến 6 pin được đo đối với mỗi bột nhão. Kết quả được chuẩn hóa với giá trị ban đầu của chúng ở 0,01 giờ.

Các Fig. 12B, 12C, 12D, và 12E minh họa sự ảnh hưởng của việc lão hóa tăng tốc trên năng suất PV với các Fig. 12B và 12D là 100% hạt nano Cu/Ni/Pb, Fig. 12C là 50% hạt nano Cu/Ni/Pb và 50% hạt nano Ni/Ni/Pb, và Fig. 12E là 100% hạt nano Ni/Ni/Pb.

Các Fig. 12F, 12G, 12H, và 12I minh họa sự ảnh hưởng trung bình của việc lão hóa tăng tốc ở 200 °C trên (a) mật độ dòng ngắn mạch, J_{sc} , (Fig. 12F), (b) điện thế mạch hở, V_{oc} , (Fig. 12G), (c) hệ số lấp đầy, FF, (Fig. 12H), và (d) hiệu suất, η (Fig. 12I). Các kết quả được chuẩn hóa với giá trị ban đầu của chúng ở 0,01 giờ. Thanh sai số là độ lệch chuẩn của 4 đến 6 pin được đo đối với mỗi bột nhão.

Bảng 2

Vật liệu/Bột nhão ID	Bột nhão 2	Bột nhão 3	Bột nhão 4
Chất kết dính hữu cơ: PVP 40000	4,70 g (3,02 % khối lượng)	4,70 g (3,02 % khối lượng)	4,70 g (3,02 % khối lượng)
Dung môi hữu cơ: Propylen Glycol	16,68 g (10,71 % khối lượng)	16,68 g (10,71 % khối lượng)	16,68 g (10,71 % khối lượng)
Hạt nano A/B/C: Hạt nano Cu/Ni/Pb	11,50 g (7,38 % khối lượng)	5,75 g (3,69 % khối lượng)	0 g (0 % khối lượng)
Hạt nano A/B/C: Hạt nano Ni/Ni/Pb	0 g (0 % khối lượng)	5,75 g (3,69 % khối lượng)	11,50 g (7,38 % khối lượng)
Oxit thứ cấp: Sb_2O_3	7,16 g (4,60 % khối lượng)	7,16 g (4,60 % khối lượng)	7,16 g (4,60 % khối lượng)
Bột Cu/D: Cu/Ni(?)P – bột đồng mịn (1,2 – 3,2 micron)	11,58 g (7,43 % khối lượng)	11,58 g (7,43 % khối lượng)	11,58 g (7,43 % khối lượng)
Bột Cu/D: Cu/Ni(?)P – vảy đồng thô (10 – 20 micron)	104,16 g (66,86 % khối lượng)	104,16 g (66,86 % khối lượng)	104,16 g (66,86 % khối lượng)

Ví dụ 6. Sự ảnh hưởng của việc cải biến bề mặt của bột chứa đồng lên độ bền

Ví dụ này chứng tỏ sự ảnh hưởng của lớp phủ dạng hạt của bột chứa đồng trên năng suất PV của pin silic tinh thể từ ba nhà sản xuất khác nhau. Bột đồng được sử dụng làm lớp phủ phù hợp với Ví dụ 1. Pin tạo ra được gây ứng suất nhiệt tại 200 °C trong thời gian lên đến 110 giờ. Năng suất của bột nhão 5 của bảng 3 được thể hiện trên các Fig. 13A-13H.

Bảng 3

Vật liệu/Bột nhão ID	Bột nhão 5
Chất kết dính hữu cơ: PVP 40000	2,92 g (1,51 % khối lượng)
Dung môi hữu cơ: Propylen Glycol	12,69 g (6,55 % khối lượng)
Hạt nano A/B/C: Hạt nano Ni/Ni/Pb	2,75g (1,51 % khối lượng)
Oxit thứ cấp: Sb ₂ O ₃	9,64 g (4,97 % khối lượng)
Bột Cu/D: Cu/Ni(?)P – bột đồng mịn (1,2 – 3,2 micron)	49,79 g (25,67 % khối lượng)
Bột Cu/D: Cu/Ni(?)P –bột đồng hình cầu (10 – 20 micron)	116,05g (59,88 % khối lượng)

Ví dụ 7. Ảnh hưởng của tỷ lệ tương đối của các hạt oxit thứ cấp và các hạt nano trong bột nhão đến độ bền

Ví dụ này minh họa sự ảnh hưởng của việc thay đổi tỷ lệ các hạt oxit thứ cấp trong bột nhão bằng cách thay đổi tỷ lệ các hạt nano Ni/Ni/Pb so với tỷ lệ các hạt oxit thứ cấp. Tỷ lệ khối lượng của hai loại hạt giữ không đổi ở 2,50. Các Fig. 14A, 14B, và 14C thể hiện năng suất PV của pin mặt trời silic đơn tinh thể trong đó ngón tay được in bằng các bột nhão sau đây (a) Bột nhão 6, (b) Bột nhão 7, và (c) Bột nhão 8 của bảng 4 (dưới đây).

Pin được gây ứng suất nhiệt ở 150 °C trong thời gian lên đến 300 giờ. Tỷ lệ của hạt nano và hạt oxit thứ cấp trong các bột nhão này được tăng lên sao cho thể tích (chỉ chất rắn) của đồng trong bột nhão trong khoảng từ 85,50 % thể tích đến 79,51 % thể tích Cu. Khi tỷ lệ của hạt nano và hạt oxit thứ cấp trong bột nhão tăng lên, độ dày của mặt phân

cách thủy tinh giữa ngón tay và phiên cũng sẽ tăng. Năng suất PV của pin trong thử nghiệm lão hóa được tăng tốc được duy trì bằng cách chỉ duy trì phần chất rắn là một phần của bột nhão lớn hơn 80 % thể tích.

Bảng 4

Vật liệu/Bột nhão ID	Bột nhão 6	Bột nhão 7	Bột nhão 8
Chất kết dính hữu cơ: PVP 40000	2,84 g (1,54 % khối lượng)	2,84 g (1,54 % khối lượng)	2,75 g (1,52 % khối lượng)
Dung môi hữu cơ: Propylen Glycol	9,24 g (5,00 % khối lượng)	10,27 g (5,50 % khối lượng)	10,47 g (5,81 % khối lượng)
Hạt nano A/B/C: Hạt nano Ni/Ni/Pb	2,71 g (1,47 % khối lượng)	3,46 g (1,85 % khối lượng)	3,62 g (2,01 % khối lượng)
Oxit thứ cấp: Sb ₂ O ₃	6,79 g (3,67 % khối lượng)	8,62 g (4,62 % khối lượng)	9,01 g (5,00 % khối lượng)
Bột Cu/D: Cu/Ni(?)P – bột đồng mịn (1,2 – 3,2 micron)	49,01 g (26,50 % khối lượng)	48,56 g (26,00 % khối lượng)	49,74 g (25,67 % khối lượng)
Bột Cu/D: Cu/Ni(?)P – bột đồng hình cầu lớn (10 – 20 micron)	114,36 g (61,84 % khối lượng)	113,02 g (60,51 % khối lượng)	107,64 g (59,78 % khối lượng)
Tổng % thể tích đồng trong bột nhão (chỉ chất rắn) (% thể tích)	82,01	80,24	79,51

Ảnh hưởng của thử nghiệm lão hóa được tăng tốc ở 150°C trên năng suất I-V của pin Si đơn tinh thể với bộ phát tự động và tiếp điểm phía sau (Passivated Emitter and Rear Cell - PERC) được cục bộ hóa trường bề mặt sau bằng nhôm (Al BSF) được mạ kim loại bằng bột nhão được thể hiện trên các Fig. 14A, 14B, và 14C.

Ví dụ 8. Ảnh hưởng của tỷ lệ tương đối của oxit thứ cấp trong bột nhão đến độ bền

Ví dụ này thể hiện sự ảnh hưởng của tỷ lệ của hạt oxit thứ cấp trong bột nhão lên năng suất của pin trong thử nghiệm lão hóa được tăng tốc ở 150 °C lên đến 200 giờ. Tỷ lệ khối lượng của hạt oxit thứ cấp với hạt nano trong bột nhão được thay đổi bằng cách thay đổi tỷ lệ của hạt oxit thứ cấp trong bột nhão được sử dụng để in ngón tay. Tổng diện tích bề mặt đóng góp của bột chứa đồng được phủ được sử dụng trong bột nhão được cố định ở 0,74 m² chất phủ cho mỗi gam bột nhão. Bảng 5 thể hiện thành phần của bột nhão được sử dụng để in ngón tay. Tất cả pin được sử dụng cùng chế phẩm bột nhão làm thanh gó.

Bảng 5

Vật liệu/Bột nhão ID	Bột nhão 10	Bột nhão 11	Bột nhão 12	Bột nhão 13
Chất kết dính hữu cơ: PVP 40000	2,79 g (1,53 % khối lượng)	2,83 g (1,53 % khối lượng)	2,88 g (1,53 % khối lượng)	2,92 g (1,52 % khối lượng)
Dung môi hữu cơ: Propylen Glycol	9,54 g (5,23 % khối lượng)	9,88 g (5,23 % khối lượng)	10,18 g (5,40 % khối lượng)	10,57 g (5,51 % khối lượng)
Hạt nano A/B/C: Hạt nano Ni/Ni/Pb	2,75 g (1,51 % khối lượng)	2,75 g (1,48 % khối lượng)	2,75 g (1,46 % khối lượng)	2,75 g (1,43 % khối lượng)
Oxit thứ cấp: Sb ₂ O ₃	1,38 g (0,76 % khối lượng)	4,13 g (2,23 % khối lượng)	6,88 g (3,65 % khối lượng)	9,64 g (5,06 % khối lượng)
Bột Cu/D: Cu/Ni(?)P – bột đồng mịn (1,2 – 3,2 micron)	49,74 g (27,29 % khối lượng)	49,74 g (26,83 % khối lượng)	49,74 g (26,39 % khối lượng)	49,74 g (25,95 % khối lượng)
Bột Cu/D: Cu/Ni(?)P –bột đồng hình cầu lớn (10 – 20 micron)	116,05 g (63,68 % khối lượng)	116,05 g (62,60 % khối lượng)	116,05 g (61,57 % khối lượng)	116,05 g (60,55 % khối lượng)
Tỷ lệ oxit thứ cấp/NP	0,50	1,50	2,50	3,51

Các Fig. 15A, 15B, 15C, 15D, 15E, và 15F minh họa sự ảnh hưởng của thử nghiệm lão hóa được tăng tốc ở nhiệt độ 150 °C lên năng suất PV của pin Si đơn tinh thể với pin Al BSF được cục bộ hóa PERC được kim loại hóa bằng bột nhão của bảng 5. Tất cả bột

nhão đã chứng tỏ V_{oc} ổn định trong khoảng thời gian thử nghiệm. Điện trở của ngón tay, và theo đó hệ số lấp đầy (FF) được phát hiện là bị tác động bởi tỷ lệ của oxit thứ cấp và hạt nano ratio đối với các bột nhão. Năng suất độ bền tối ưu được tìm thấy khi sử dụng tỷ lệ 1,50. Dữ liệu ở oxit thứ cấp/NP = 0,5, có thể bị loại bỏ bởi thực tế là có ít mẫu hơn và điều kiện nung hơi chệch mục tiêu.

Ví dụ 9. Ảnh hưởng của diện tích bề mặt của hạt chứa đồng với niken trên độ bền

Lớp phủ niken trên bột chứa đồng được định lượng thông qua việc đo diện tích bề mặt vật liệu. Lượng lớp phủ trong bột nhão được thay đổi bằng cách thay đổi diện tích bề mặt của bột đồng mịn trong bột nhão. Lượng lớp phủ trên bột đồng là (Bột nhão 11) 0,74, (Bột nhão 14) 0,83, (Bột nhão 15) 1,01, và (Bột nhão 16) 1,10 m² trên mỗi gam bột nhão. Tất cả bột nhão đã sử dụng tỷ lệ giữa hạt oxit thứ cấp và hạt nano là 1,50. Bảng 6 thể hiện thành phần của bột nhão được sử dụng để in ngón tay. Tất cả pin được sử dụng cùng chế phẩm bột nhão làm thanh góp.

Bảng 6

Vật liệu/Bột nhão ID	Bột nhão 11	Bột nhão 14	Bột nhão 15	Bột nhão 16
Chất kết dính hữu cơ: PVP 40000	2,83 g (1,53 % khối lượng)	2,83 g (1,52 % khối lượng)	2,83 g (1,52 % khối lượng)	2,83 g (1,51 % khối lượng)
Dung môi hữu cơ: Propylen Glycol	9,88 g (5,23 % khối lượng)	11,08 g (5,94 % khối lượng)	11,33 g (6,06 % khối lượng)	11,58 g (6,19 % khối lượng)
Hạt nano A/B/C: Hạt nano Ni/Ni/Pb	2,75 g (1,48 % khối lượng)	2,75 g (1,47 % khối lượng)	2,75 g (1,47 % khối lượng)	2,75 g (1,47 % khối lượng)
Oxit thứ cấp: Sb ₂ O ₃	4,13 g (2,23 % khối lượng)	4,13 g (2,21 % khối lượng)	4,13 g (2,21 % khối lượng)	4,13 g (2,21 % khối lượng)
Bột Cu/D: Cu/Ni(?)P – bột đồng mịn (1,2 – 3,2 micron)	49,74 g (26,83 % khối lượng)	49,74 g (26,66 % khối lượng)	49,74 g (26,62 % khối lượng)	49,74 g (26,95 % khối lượng)
Bột Cu/D:	116,05 g	116,05 g	116,05 g	116,05 g

Cu/Ni(?)P –bột đồng hình cầu lớn (10 – 20 micron)	(62,60 % khối lượng)	(62,20 % khối lượng)	(62,11% khối lượng)	(62,03 % khối lượng)
Tổng diện tích bề mặt đối với bột đồng trên mỗi gam bột nhão (m ² mỗi gam bột nhão)	0,74	0,83	1,01	1,10

Các Fig. 16A, 16B, 16C, 16D, và 16E lần lượt minh họa sự ảnh hưởng của thử nghiệm lão hóa được tăng tốc ở 200 °C lên năng suất PV được chuẩn hóa J_{sc} , được chuẩn hóa V_{oc} , FF chuẩn hóa, được chuẩn hóa η , và điện trở chuẩn hóa qua các ngón tays, của pin Si đơn tinh thể với Al BSF cục bộ hóa PERC được mạ kim loại bằng bột nhão trong bảng 6. Khi diện tích bề mặt của hạt chứa đồng với niken lớn hơn 1,0 m² trên mỗi gam bột nhão, điện trở của ngón tay tăng đáng kể; vì thế, dẫn đến giảm FF. Việc sử dụng diện tích bề mặt là 1,01 m² mỗi gam bột nhão trên các pin này, dẫn đến mức giảm thấp nhất với FF (Fig. 16C), trong khoảng thời gian thử nghiệm.

Các Fig. 17A, 17B, 17C, và 17D minh họa các ví dụ của lão hóa tăng tốc lên năng suất I-V của bột nhão được minh họa trên các Fig. 16A, 16B, 16C, 16D, và 16E tại 200 °C. Khi diện tích bề mặt của các hạt chứa đồng trong bột nhão là thấp (Bột nhão 11), lớp chặn khuếch tán được tạo thành bởi bột nhão dường như không đủ, và việc gia tăng đáng chú ý của đường cong I-V tối được quan sát; dẫn đến FF và năng suất thấp hơn. Tuy nhiên, khi diện tích bề mặt là cao (Bột nhão 16), điện trở nối tiếp của thiết bị tăng đáng kể, cho thấy rằng lớp chặn không quá dày và trở nên thuận trở hơn dưới các điều kiện thử nghiệm.

Ví dụ 10. Sự ảnh hưởng của hạt đồng diện tích bề mặt lên sự khắc ăn mòn và hệ số lấp đầy

Ví dụ này chứng tỏ tác động của diện tích bề mặt của các hạt chứa đồng được sử dụng trong bột nhão lên chức năng khắc ăn mòn của bột nhão. Cả hạt oxit thứ cấp và hạt nano đều có khả năng khắc ăn mòn lớp phủ chống phản xạ silic nitrua (SiN). Do sự đóng góp diện tích bề mặt của hạt chứa đồng tăng lên, khả năng khắc ăn mòn của bột nhão qua lớp SiN được tin là sẽ giảm. Sự đóng góp diện tích bề mặt từ các hạt chứa đồng thay đổi bằng cách thay đổi tỷ lệ của bột chứa đồng thô và mịn trong bột nhão. Bảng 7 liệt kê sự ảnh hưởng của việc thay đổi tỷ lệ lên sự đóng góp diện tích bề mặt của bột chứa đồng và

sự ảnh hưởng của nó lên điện trở suất khối, điện trở suất tiếp xúc, và FF của thiết bị. Bột nhão được liệt kê trên bảng 7 bao gồm hạt nano với thành phần Cu/Ni/Pb. Lý thiết là trong khi nung, hạt nano (hạt nano Cu/Ni/Pb) và hạt oxit thứ cấp Sb_2O_3 nóng chảy và phủ lên bề mặt của các hạt chứa đồng. Do đó, sự đóng góp diện tích bề mặt của các hạt chứa đồng càng lớn, thì tỷ lệ hạt nano và oxit thứ cấp từ hạt oxit thứ cấp đến được bề mặt pin càng nhỏ. Tất cả các mẫu được nung bằng cách sử dụng phương pháp nung gạch. Phương pháp nung gạch là kỹ thuật mà pin mẫu được đặt trên bếp điện được thiết lập đến $300\text{ }^\circ\text{C}$ trong 3 phút. Sau đó các pin mẫu được chuyển ngay sang lò buồng kín được thiết lập nhiệt độ từ $750\text{ }^\circ\text{C}$ đến $800\text{ }^\circ\text{C}$ trong thời gian từ 1 giây đến 3 giây. Lò nung này được xếp bằng gạch chịu lửa để giữ nhiệt, khi mở cửa lò nung. Pin mẫu được đặt trực tiếp lên bề mặt của gạch chịu lửa, và cửa được đóng lại trong khoảng thời gian mẫu ở trong lò nung.

Bảng 7

Tỷ lệ của bột Cu mịn 1,2 – 3,2 μm và vảy Cu thô 10 – 20 μm	Bột nhão ID	Diện tích bề mặt của Cu được phủ trong Bột nhão (m^2)	Suất điện trở khối, ρ (Ωcm) (Phương pháp thăm dò 4 điểm)	Điện suất tiếp xúc, ρ_c (Ωcm^2)	Hệ số lấp đầy trung bình, FF
100:0:0	BTF_RD_SP27	424,80 m^2	$5,85 \times 10^{-6}$	0,304	0,41
50:50	BTF_RD_SP37	261,04 m^2	$1,54 \times 10^{-6}$	0,206	0,61
40:60	BTF_RD_SP36	228,26 m^2	$3,49 \times 10^{-6}$	0,048	0,62
30:70	BTF_RD_SP35	195,52 m^2	$2,89 \times 10^{-6}$	0,090	0,57
20:80	BTF_RD_SP34	162,75 m^2	$2,76 \times 10^{-6}$	0,110	0,60
10:90	Bột nhão 2	129,99 m^2	$6,73 \times 10^{-6}$	0,074	0,65
0:100	BTF_RD_SP19	97,23 m^2	$1,61 \times 10^{-5}$	0,302	0,60
	BTF_RD_SP24		$4,22 \times 10^{-6}$	0,122	0,58

Quy trình khắc ăn mòn được kiểm soát bằng lượng chì (Pb) trong bột nhão, mà được đưa vào bột nhão thông qua hạt nano (ví dụ hạt nano Ni/Ni/Pb). Tỷ lệ mol của Ni:Pb được sử dụng trong quá trình tổng hợp là 14:1. Lượng Pb là đủ để bột nhão chứa 0,83 m^2 đồng cho mỗi gam bột nhão để khắc ăn mòn qua lớp SiN_x và tạo thành pin hoạt động. Việc thay thế vảy đồng thô bằng bột chứa đồng mịn (1,2 – 3,2 μm) thu được bột nhão chứa 2,73 m^2 đồng cho mỗi gam bột nhão. Do đó, người ta tin rằng lượng chì trong bột nhão cần được tăng lên để ăn mòn qua lớp SiN_x . Một giải pháp sẽ là làm tăng tải lượng của hạt nano

Ni/Ni/Pb trong bột nhão. Để tăng hệ số 3,3 này trong diện tích bề mặt của đồng, tỷ lệ mol của Pb và Cu ($Pb/(Pb+Cu)$) cần được tăng lên hệ số 12. Việc tăng lượng hạt nano trong bột nhão được tin là không thực tế là do có khả năng ảnh hưởng tiêu cực lên khả năng in của bột nhão. Ngoài ra, thể tích của các hạt chứa đồng trong các tiếp điểm được in được giảm mà ảnh hưởng đến suất điện trở, ρ . Kết quả là, việc tổng hợp hạt nano Ni/Ni/Pb được cải biến (Ni:Pb = 1,6:1) sao cho hạt nano chứa Pb ở tỷ lệ cao hơn. Sau đó, lượng các hạt nano trong bột nhão đã tăng lên với hệ số chỉ khoảng 2,5.

Mặc dù bột nhão chứa 100% bột đồng mịn ($1,2 - 3,2 \mu m$) được khắc ăn mòn qua SiN_x , ρ_c của pin vẫn cao ($0,426 \Omega cm^2$). Nguyên nhân chính của ρ_c cao là do ngón tay bị nứt làm ảnh hưởng đến các điện trở đo được. Nứt được cho là do co ngót là kết quả của việc nén chặt. Để khắc phục vấn đề này, vảy đồng thô được sử dụng trong bột nhão. Diện tích bề mặt tổng thể của đồng trong bột nhão được duy trì ở $2,73 m^2$ của đồng mỗi gam của bột nhão và lượng của hạt nano và oxit thứ cấp (Sb_2O_3) các hạt giữ nguyên không đổi. Lượng chất kết dính và dung môi trong chất mang hữu cơ được điều chỉnh dựa trên tỷ lệ của chất rắn trong bột nhão.

Các Fig. 18A, 18B, và 18C thể hiện sự ảnh hưởng của tỷ lệ giữa đồng thô ($10 - 20 \mu m$) và đồng mịn ($1,2 - 3,2 \mu m$) lên diện tích bề mặt, thể tích, và sự đóng góp khối lượng của đồng với niken. Sự ảnh hưởng của tỷ lệ này lên điện trở suất khối (ρ) và điện trở suất tiếp xúc (ρ_c) được thể hiện trên các Fig. 19A và 19B. Các Fig. 18D và 18E thể hiện hình ảnh của bột nhão được nung bằng cách lần lượt sử dụng bột 100% mịn và 100% thô. Bột nhão chỉ chứa bột chứa đồng mịn dẫn đến hình thành các vết nứt lớn, do quá trình nén chặt xảy ra trong quá trình nung. Khi lượng đồng thô tăng lên, vết nứt trên ngón tay sẽ giảm đi. Điều này là do khả năng tải thêm các hạt có chứa đồng trong bột nhão và do đó làm tăng thể tích đồng mà không làm tăng diện tích bề mặt tổng thể của đồng. Giá trị ρ đạt được là $3,68 \times 10^{-5} \Omega cm$ khi tỷ lệ của đồng thô và bột đồng mịn là 70:30 được sử dụng.

Ví dụ 11. Sự ảnh hưởng của hình dạng các hạt chứa đồng lên sự lưu biến và phối chế bột nhão

Ví dụ này thể hiện sự ảnh hưởng của hình dạng bột đồng thô lên độ lưu biến, vi cấu trúc và sự phối chế của bột nhão. Trong ví dụ này, tác động của các hạt thô hình cầu được so sánh với hạt thô hình vảy. Hình dạng và sự xếp chặt của các hạt chứa đồng hình cầu cho

phép hạt nano và hạt oxit thứ cấp (Sb_2O_3) nóng chảy và chảy vào lớp SiN_x nhanh hơn nhiều so với cấu trúc lỗ xốp liên kết của vảy đồng thô. Kết quả là, lượng các hạt nano và các hạt oxit thứ cấp có thể được giảm bớt; do đó cho phép bột nhão chứa các hạt hình cầu có tải lượng chất rắn cao hơn và độ nhớt tương đối thấp hơn mặc dù bột nhão chứa tỷ lệ các hạt chứa đồng mịn cao hơn. Năng suất PV, độ nhớt, và vi cấu trúc được thể hiện trên Fig. 20A và 20B, 20C, và 20D và 20E, tương ứng. Nghiên cứu thêm về thành phần oxit thứ cấp dẫn đến giá trị ρ_c giảm xuống $0,065 \Omega\text{cm}^2$.

Bảng 8

Bột nhão ID	Bột nhão 4	Bột nhão 17
Tỷ lệ của bột đồng lớn: bột đồng nhỏ	90:10	70:30
Tỷ lệ của bột đồng lớn	Vảy đồng thô	Bột đồng hình cầu
Loại hạt nano	Ni/Ni/Pb	Ni/Ni/Pbx9,2
Diện tích bề mặt của đồng trong bột nhão (m^2/g bột nhão)	36,0	45,5
Phần thể tích của đồng trong bột nhão đã in sau khi làm khô (% thể tích)	65,0	75,2

Bảng 8 so sánh Bột nhão 4 và Bột nhão 17. Các Fig. 20A, 20B, và 20C so sánh năng suất I-V của bột nhão đối với (a) hỗn hợp có tỷ lệ 90:10 của (10 – 22 μm) bột đồng thô và mịn (1,2 – 3,6 μm) bột đồng và (b) hỗn hợp có tỷ lệ 70:30 của (10 – 22 μm) bột đồng hình cầu và bột đồng mịn (1,2 – 3,6 μm). Pin được đo bằng cách sử dụng đèn halogen. So sánh tỷ lệ % thể tích và độ nhớt của bột nhão bằng cách sử dụng vảy đồng thô (10 – 20 μm) và (10 – 22 μm) bột đồng hình cầu được thể hiện. Trên các Fig. 20D và 20E lần lượt là các hình ảnh SEM của ngón tay được nung từ (d) bột thô và (e) bột hình cầu lớn được thể hiện.

Ví dụ 12. Nghiên cứu xếp chặt đối với các hạt chứa đồng hình dạng khác nhau

Để in ngón tay với điện trở suất thấp nhất có thể, mong muốn là các hạt trong bột nhão phải xếp chặt với nhau càng chặt chẽ càng tốt với khoảng trống tối thiểu. Hình dạng và kích thước của hạt, cũng như lượng chất mang hữu cơ trong bột nhão sẽ xác định độ xếp chặt của bột. Bảng 9 cung cấp ước tính về mật độ điểm nối dây biểu kiến cho các hạt khác nhau được sử dụng trong bột nhão. Kích thước hạt càng nhỏ hoặc diện tích bề mặt của hạt càng lớn, thì mật độ nén chặt càng thấp.

Bảng 9

Vật liệu	Mật độ vật liệu (gcm^{-3})	Diện tích bề mặt (m^2/g)	Mật độ (điểm nổi dây) biểu kiến (gcm^{-3})	Hệ số nén chặt (Φ)
Cu/Ni(?)P, vảy Cu thô 10 – 20 μm (Bean Town), - 325 lưới, Cu > 45 μm = 0,30 % khối lượng 20 μm < Cu < 45 μm = 23,96 % khối lượng Cu < 20 μm = 75,74 % khối lượng	8,96 (trị số lý thuyết)	0,84	2,37	0,26
Cu/Ni(?)P, bột Cu hình cầu 10 – 22 μm (Cu112SP, Chemical Store) Cu > 45 μm = 0,13 % khối lượng 20 μm < Cu < 45 μm = 86,49 % khối lượng Cu < 20 μm = 13,38 % khối lượng	8,96 (trị số lý thuyết)	0,29 – 0,73	5,40 (trị số thông báo = 4,5-5,5)	0,60
Cu/Ni(?)P, bột Cu hình cầu 7,5 – 14,7 μm (610, ACuInternational) d_{10} = 7,53 μm , d_{50} = 9,89 μm , d_{90} = 14,69 μm	8,96 (trị số lý thuyết)	0,57 – 0,64	4,12 (trị số thông báo = 4,3)	0,46
Cu/Ni(?)P, bột Cu hình cầu 1,8 – 7,7 μm (603, ACuInternational) d_{10} = 1,75 μm , d_{50} = 4,03 μm , d_{90} = 7,72 μm	8,96 (trị số lý thuyết)	0,77 – 0,87	3,69	0,41
Cu/Ni(?)P, bột Cu mịn 1,2 – 3,2 μm (C1-2000, Ames Goldsmith) d_{10} = 1,2 μm , d_{50} = 1,9 μm , d_{90} = 3,2 μm	8,96 (trị số lý thuyết)	1,1 – 4,1 (vẫn có thể thay đổi) (Nhưng có thể tăng lên đến 25,62)	3,25 3,46	0,36
Sb ₂ O ₃ (1,1- 1,8 μm , Bean Town)	5,2	2,74	1,33	0,26

(trị số lý thuyết)				
Ni/Ni/Pb×9,2 (Giả sử PbO tạo thành và không phải Pb(OH) ₂)	8,29 (Trị số tính toán)	1,71– 7,01 (Nhưng có thể tăng lên đến 33)	0,78	0,09

Bảng 10

Bột nhão ID	Vảy Cu thô 10 – 20 µm (Bean Town)	Bột Cu hình cầu 10 – 22 µm (Cu112SP, Chemical Store)	Bột Cu hình cầu 7,5 – 14,7 µm (610, ACuInternational)	Bột Cu hình cầu 1,8 – 7,7 µm (603, ACuInternational)	Bột Cu mịn 1,2 – 3,2 µm (C1-2000, Ames Goldsmith)
Bột nhão 2	90	–	–	–	10
Bột nhão 41	–	–	–	–	100
Bột nhão 18	–	100	–	–	
Bột nhão 19	–	90	–	–	10
Bột nhão 20	–	80	–	–	20
Bột nhão 17/ Bột nhão 5	–	70	–	–	30
Bột nhão 1	–	37	21	12	30
Bột nhão 21	–	37	21	30	12
Bột nhão 22	–	37	30	21	12
Bột nhão 23	–	–	48	33	19
Bột nhão 24	–	–	60	43	15
Bột nhão 25	–	–	70	30	–

Bảng 10 thể hiện tỷ lệ của các bột khác nhau được sử dụng trong một số bột nhão. Các Fig. 21A, 21B, và 21C lần lượt thể hiện hình ảnh của các hình vuông được in bằng các bột nhão sau đây (a) Bột nhão 18, (b) Bột nhão 19, và (c) Bột nhão 20. Do sự nén chặt và co ngót, các bản in bị bong ra khỏi chất nền silic. Các hình vuông được đặt lên hộp đèn, để

quan sát độ xốp của bản in được nung. Hình vuông được in với tỷ lệ bột mịn cao hơn dẫn đến cấu trúc chặt hơn.

Fig. 22 là hình ảnh mặt cắt SEM của ngón tay được in bằng bột nhão được cụ thể hóa trên bảng 10 (nêu trên). Trên Fig. 22, bột nhão là (a) Bột nhão 2, (b) Bột nhão 5, (c) Bột nhão 41, (d) Bột nhão 1, (e) Bột nhão 21, (f) Bột nhão 22, (g) Bột nhão 23, (h) Bột nhão 24, và (i) Bột nhão 25. Các tiết diện chặt hơn thu được đối với bột nhão chứa tỷ lệ bột mịn cao hơn, cũng như phạm vi kích thước hạt rộng hơn.

Bảng 11 (bên dưới) cho thấy thành phần bột nhão đầy đủ của bột nhão 5 được thể hiện trên Bảng 10 và Fig. 22(b). Bảng 12 thể hiện thành phần bột nhão đầy đủ của bột nhão số Bột nhão 1 được thể hiện trên bảng 10 và Fig. 22(d). Bột nhão 1 được phối chế sao cho nó sẽ chứa cùng tỷ lệ của hạt oxit thứ cấp và hạt nano với các hạt chứa đồng trong bột nhão khi được sử dụng cho Bột nhão 5. Tuy nhiên, để tạo ra mặt cắt chặt hơn, bốn kích thước bột đồng khác nhau (Cu112SP, 610, 603 và C1-2000) được sử dụng. Giả sử rằng quá trình trộn và nghiền sẽ cho phép các loại bột Cu112SP, 610 và 603 Cu xếp chặt với hệ số xếp chặt, ϕ là 0,639 (ngẫu nhiên). Khối lượng kết hợp của các bột Cu112SP, 610 và 603 được lấy để có 70% khối lượng của bột đồng. C1-2000 được bổ sung ở 30 % khối lượng (của toàn bộ đồng). Tỷ lệ khối lượng Cu/NP được giữ nguyên không đổi với PVP = 0,0164 g PVP/g chất rắn. Vì cấu trúc của ngón tay được in bằng Bột nhão 1 có vẻ chặt hơn của Bột nhão 5.

Bảng 11 – Bột nhão Id.: Bột nhão 5

Vật liệu	Tỷ lệ khối lượng của bột Cu khác nhau	Khối lượng khác (g)	Khối tích (cm ³)	Thể tích xếp chặt (cm ³)	Khoản g trọng (cm ³)	% khối lượng (của bột nhão)	% thể tích (chỉ chất rắn)
Bột Cu hình cầu 10 – 22 μm (Cu112SP, Chemical Store)	70	116,05	12,95	20,27	7,32	59,88	56,01
Bột Cu hình cầu 7,5 – 14,7 μm (610, – ACuInternational)		–	–	–	–	–	–
Bột Cu hình cầu 1,8 – 7,7 μm (603, – ACuInternational)		–	–	–	–	–	–

Bột Cu mịn 1,2 – 3,2 μm (C1-2000, Ames 30 Goldsmith)		49,74	5,55	8,69	3,14	25,67	24,01
Sb_2O_3	–	9,64	1,85	2,90	1,05	4,97	8,02
Hạt nano – Ni/Ni/Pb $\times 9,2$		2,75	0,33	0,52	0,19	1,42	1,43
PVP 40000	–	2,92	2,44	–	–	1,51	10,53
Propylen Glycol	–	12,69	12,20	–	–	6,55	–
Tổng cộng	100	193,79	23,12	–	–	100,00	100,00

% thể tích Sb_2O_3 (chỉ xem xét Sb_2O_3 và Cu)	9,11 % thể tích
Tỷ lệ $\text{Sb}_2\text{O}_3/\text{NP}$	3,51
Tỷ lệ Cu/NP	60,29
Tổng Cu (chỉ chất rắn)	80,02 % thể tích
Tổng Cu (trong bột nhão)	85,55 % khối lượng

Bảng 12 – Bột nhão Id.: Bột nhão 1

Vật liệu	Tỷ lệ khối lượng của bột khác nhau	lệ khối lượng các Cu	Khối lượng (g)	Thể tích (cm^3)	Thể tích xếp chặt (cm^3)	Khoảng trống (cm^3)	% khối lượng (của bột nhão)	% thể tích (chỉ chất rắn)
Bột Cu hình cầu 10 – 22 μm (Cu112SP, Chemical Store)	37		121,18	13,52	21,17	7,64	31,78	29,72
Bột Cu hình cầu 7,5 – 14,7 μm (610, 21 ACuInternational)			68,46	7,64	11,96	4,32	17,95	16,79
Bột Cu hình cầu 1,8 – 7,7 μm (603, 12 ACuInternational)			38,68	4,32	6,76	2,44	10,14	9,49
Bột Cu mịn 1,2 – 3,2 μm (C1-2000, Ames 30 Goldsmith)			97,85	10,92	17,09	6,17	25,66	24,00

Sb ₂ O ₃	–	19,00	3,65	5,72	2,06	4,98	8,03
Hạt nano Ni/Ni/Pb×9,2	–	5,45	0,66	1,03	0,37	1,43	1,44
PVP 40000	–	5,75	4,79	–	–	1,51	10,53
Propylen Glycol	–	24,96	24,00	–	–	6,55	–
Tổng cộng	100	381,33	45,51	–	–	100,00	100,00

% thể tích Sb ₂ O ₃ (chỉ xem xét Sb ₂ O ₃ và Cu)	9,12 % thể tích
Tỷ lệ Sb ₂ O ₃ /NP	3,49
Tỷ lệ Cu/NP	59,85
Tổng Cu (chỉ chất rắn)	80,00 % thể tích
Tổng Cu (trong bột nhão)	85,53 % khối lượng

Ví dụ 13. Sự ảnh hưởng của chất kết dính hữu cơ đến việc khử oxit trong bột nhão và ảnh hưởng của nó đến điều kiện nung

Một số kim loại trong bột nhão, cụ thể là trong hạt nano và trong lớp phủ trên bề mặt của bột chứa đồng, là ở dạng oxit. Việc đưa oxit vào tiếp điểm điện trong pin sẽ làm tăng điện trở suất của ngón tay và sẽ làm giảm mật độ dòng ngắn mạch (J_{sc}), hệ số lấp đầy (FF), và tổng hiệu suất (η) của thiết bị. Tuy nhiên, các oxit có lợi vì chúng dễ tổng hợp hơn và diện tích bề mặt tăng lên rất hữu ích trong quá trình khắc ăn mòn lớp chống phản xạ (SiN). Do ảnh hưởng đến năng suất tổng thể của thiết bị pin mặt trời, các vật liệu này phải được khử trong quá trình nung. Các kỹ thuật điển hình để khử oxit trong quá trình tổng hợp bao gồm việc sử dụng các chất khử hydro như hydrazin, natri bohydrua, v.v. Khí hình thành cũng là một chất khử phổ biến, nhưng chúng đòi hỏi các lò nung chuyên dụng. Các chất mang hữu cơ, chẳng hạn polyvinylpyrrolidon (PVP), phân hủy ở nhiệt độ trên 300 °C. Việc phân hủy này tạo ra khí khử có khả năng khử oxit kim loại thành kim loại trong bột nhão. Điều này cho phép bột nhão được nung trong không khí trong khi đồng thời khử các oxit được chọn có mặt trong bột nhão. Các bột nhão làm ví dụ được mô tả ở đây có thể được sử dụng trong lò nung thường được sử dụng trong công nghiệp PV.

Fig. 23 thể hiện nhiễu xạ tia x (XRD) của màng được phối chế với hạt nano Cu/Ni/Pb, oxit chì, và PVP. Bảng 13 dưới đây danh sách thành phần của bột nhão trong

Fig. 23. Màng khi được lắng phủ rõ ràng thể hiện sự phản xạ mạnh của oxit đồng (Cu_2O) và oxit chì (PbO_2). Trong trường hợp này, các màng được thực hiện quá trình nung nhanh được gọi là xử lý ánh sáng theo xung cường độ mạnh (Intense Pulsed Light - IPL) (còn được gọi là nung kết ánh sáng). Quá trình xử lý IPL áp dụng nhiều xung ánh sáng liên tiếp nhanh chóng cho một mẫu nhất định. Sự gia tăng nhiệt độ mà màng phải trải qua phụ thuộc vào lượng ánh sáng chiếu vào và là hàm của độ dẫn nhiệt, nhiệt dung riêng và mật độ của vật liệu. Các xung ánh sáng ban đầu được sử dụng để phân hủy PVP trong màng và khử các oxit kim loại. Các xung ánh sáng tiếp theo thiêu kết và làm nóng chảy các hạt thành một màng hợp nhất. Quá trình gia nhiệt nhanh kết hợp với PVP trong bột nhão, dẫn đến việc cho phép các mẫu được xử lý nhiệt trong không khí. Fig. 23 cũng thể hiện màng sau khi xử lý IPL. Cường độ của phản xạ oxit đã giảm đi và được thay thế bằng phản xạ đồng cường độ cao với các màng được định hướng ưu tiên đến vị trí đỉnh Cu (111). Ngoài ra, niken cũng có mặt.

Bảng 13

Vật liệu	Bột nhão 30
Chất kết dính hữu cơ: PVP 40000	1,25 g (4,87 % khối lượng)
Dung môi hữu cơ: Etylen glycol	4,70 g (18,32 % khối lượng)
Hạt nano A/B/C: Hạt nano Cu/Ni/Pb	15,00 g (58,48 % khối lượng)
Oxit thứ cấp: PbO_2	2,50 g (9,75 % khối lượng)
Graphit	0,20 g (0,78 % khối lượng)
Bột Cu/D: Cu/Ni/Pb Bột Cu vảy 10 – 22 μm	2,00 g (7,80 % khối lượng)

Các Fig. 24A và 24B minh họa các ví dụ minh về vai trò của chất kết dính lên chức năng khắc ăn mòn của bột nhão. Bột nhão được phối chế với hạt nano Cu/Ni/Pb và hạt nano oxit thứ cấp (oxit antimon). Lượng chất kết dính hữu cơ (PVP) trong bột nhão được điều chỉnh để thay đổi % khối lượng từ 1,01 đến 3,02 % khối lượng. Thành phần của bột nhão có thể được phát hiện trên bảng 14 dưới đây. Bột nhão được in trên pin mặt trời silic

đơn tinh thể với tiếp điểm phía sau Al BSF hoàn toàn. Pin đều được nung bằng cách sử dụng phương pháp nung gạch ở 690 °C trong 3 giây. Các Fig. 24A và 24B thể hiện đường cong I-V đối với các pin được đo trong tối. Dòng điện thấp dưới phân cực thuận cho thấy rằng bột nhão không ăn mòn qua lớp SiN và tạo ra một tiếp điểm điện với silic. Trong khi một dòng điện tương đối cao từ 0 đến 0,5 V cho thấy rằng bột nhão đã khắc ăn mòn quá sâu. Khi lượng PVP trong bột nhão là thấp (1,11 % khối lượng), khí khử không đủ để khử toàn bộ oxit (hạt nano và oxit thứ cấp) trong bột nhão và khắc ăn mòn qua lớp phủ SiN. Điều này dẫn đến các đặc tính I-V thuận trở hơn. Khi lượng PVP trong bột nhão được tăng đến 3,02 % khối lượng, môi trường khử gây ra bởi việc phân hủy PVP là đủ để khử oxit và khắc ăn mòn qua SiN. Các Fig. 24A và 24B cũng thể hiện tác động của nhiệt độ nung lên khả năng của PVP trong việc khắc ăn mòn qua lớp phủ chống phản xạ. Pin được in bằng bột nhão chứa 3,02 % khối lượng PVP và được nung bằng phương pháp nung gạch. Pin được giữ trong lò nung trong 3 giây. Lò nhiệt độ được thay đổi từ 630 – 720 °C. Ở nhiệt độ thấp, không đủ năng lượng đầu vào để khắc ăn mòn đầy đủ qua SiN và nung kết các hạt chứa đồng. Trên nhiệt độ cao (720 °C), việc tăng dòng điện tối quan sát được, mà chỉ ra rằng tiếp điểm đã thâm nhập sâu hơn vào bộ phát. Các kết quả này chỉ ra rằng điều kiện nung có thể được điều chỉnh bằng cách thay đổi lượng PVP trong bột nhão.

Bảng 14

Vật liệu	Bột nhão 26	Bột nhão 27	Bột nhão 28	Bột nhão 29
Chất kết dính hữu cơ: PVP 40000	4,70 g (3,02 % khối lượng)	3,70 g (2,39 % khối lượng)	2,70 g (1,76 % khối lượng)	1,70 g (1,11 % khối lượng)
Dung môi hữu cơ: Propylen Glycol	16,68 g (10,71 % khối lượng)	16,68 g (10,78 % khối lượng)	16,68 g (10,85 % khối lượng)	16,68 g (10,92 % khối lượng)
Hạt nano A/B/C: Hạt nano Cu/Ni/Pb	11,50 g (7,38 % khối lượng)	11,50 g (7,43 % khối lượng)	11,50 g (7,48 % khối lượng)	11,50 g (7,53 % khối lượng)
Oxit thứ cấp: Sb ₂ O ₃	7,16 g (4,60 % khối lượng)	7,16 g (4,63 % khối lượng)	7,16 g (4,66 % khối lượng)	7,16 g (4,69 % khối lượng)
Bột Cu/D: Bột Cu vảy 10 – 22 µm	115,75 g (74,30 % khối lượng)	115,75 g (74,78 % khối lượng)	115,75 g (75,26 % khối lượng)	115,75 g (75,76 % khối lượng)

Các Fig. 31A-31D cung cấp các ví dụ về vai trò của PVP trong bột nhão. Trong ví dụ này, sự đóng góp diện tích bề mặt (tức là, lượng lớp phủ hạt niken) từ các hạt chứa đồng với niken được thay đổi bằng cách thay đổi diện tích bề mặt (ví dụ 1,10, 2,65 và 4,14 m²/g) của các hạt chứa đồng mịn trong bột nhão. Sự ảnh hưởng của lượng chất kết dính hữu cơ (PVP) lên các chế phẩm bột nhão khác nhau cũng được nghiên cứu. Bảng 15 dưới đây liệt kê các thành phần bột nhão đối với bột nhão được làm bằng các hạt chứa đồng mịn với lượng 1,10 m²/g và PVP với các lượng khác nhau (ví dụ 1,5, 2,0, 2,5, và 3,0 % khối lượng). Sự ảnh hưởng của % khối lượng PVP và diện tích bề mặt của các hạt chứa đồng mịn (1,2 – 3,6 µm) trong bột nhão lên năng suất điện và năng suất PV (Fig. 31A, 31F, và 31K - J_{sc}; Fig. 31B, 31G, và 31L - V_{oc}; Fig. 31C, 31H, và 31M – FF; Fig. 31D, 31I, và 31N – η; và Fig. 31E, 31J, và 31O - tổng điện trở trên các ngón tay) của pin mặt trời Si đơn tinh thể được thể hiện trên Fig. 24. Chế phẩm bột nhão là Bột nhão 31 (các Fig. 31A-31E), Bột nhão 32 (Figs. 31F-31J), và Bột nhão 33 (Fig. 31K-31O) được liệt kê trên bảng 14 bằng cách sử dụng bột đồng mịn với diện tích bề mặt lần lượt là 1,10, 2,65, và 4,14 m²/g. Pin được nung bằng cách sử dụng quy trình được mô tả trong Ví dụ 16, với tốc độ giai đoạn là 2,5 cm/giây và nhiệt độ điểm đặt vùng 2 là 753 °C. Thời gian giữ trong vùng 2 được thay đổi từ 4 giây đến 8 giây.

Các Fig. 31A-31O thể hiện rằng đối với diện tích bề mặt thấp (ví dụ 1,01 m²/g), lượng PVP thấp (ví dụ 1,5 % khối lượng) là đủ để khử oxit trong bột nhão và khắc ăn mòn qua lớp SiN. Kết quả này cũng chỉ ra rằng thời gian giữ trong 2 hoặc nhiệt độ điểm đặt vùng 2 có thể được giảm thêm để cải thiện năng suất PV của thiết bị. Việc tăng lượng PVP trong các bột nhão này dẫn đến năng suất giảm hơn do điện trở nội tiếp tăng. Bột nhão sử dụng bột chứa đồng với diện tích bề mặt cao (ví dụ 4,14 m²/g), cần tỷ lệ PVP cao hơn, thời gian giữ lâu hơn, và/hoặc nhiệt độ cao hơn để khắc ăn mòn lớp phủ SiN và tạo ra tế bào.

Bảng 15

Bột nhão ID	Bột nhão 31, 32, Bột nhão 31, 32, Bột nhão 31, 32, Bột nhão 31, 32, 33 33 33 33 – 1,5 % khối – 2,0 % khối – 2,5 % khối – 3,0 % khối lượng lượng lượng lượng			
Chất kết dính hữu cơ: PVP 40000	2,28 g (1,52 % khối lượng)	2,02 g (2,01 % khối lượng)	2,52 g (2,48 % khối lượng)	3,02 g (2,95 % khối lượng)

Dung môi hữu cơ: Propylen Glycol**	8,54 g (5,71 % khối lượng)	6,03 g (5,99 % khối lượng)	6,53 g (6,43 % khối lượng)	6,78 g (6,62 % khối lượng)
Hạt nano A/B/C: Hạt nano Ni/Ni/Pb	2,15 g (1,44 % khối lượng)	1,43g (1,42 % khối lượng)	1,43 g (1,41 % khối lượng)	1,43 g (1,40 % khối lượng)
Oxit thứ cấp: Sb ₂ O ₃	7,50 g (5,01 % khối lượng)	5,00 g (4,97 % khối lượng)	5,00 g (4,92 % khối lượng)	5,00 g (4,89 % khối lượng)
Bột Cu/D: Bột Cu mịn 1,2 – 3,2 µm*	38,75 g (25,90 % khối lượng)	25,83 g (25,68 % khối lượng)	25,83 g (25,43 % khối lượng)	25,83 g (25,24 % khối lượng)
Bột Cu/D: Bột Cu hình cầu 10 – 22 µm	90,42 g (61,43 % khối lượng)	60,28 g (59,93 % khối lượng)	60,28 g (59,34 % khối lượng)	60,28 g (58,90 % khối lượng)
Tổng cộng	149,64 g (100,00 % khối lượng)	100,59g (100,00 % khối lượng)	101,59 g (100,00 % khối lượng)	167,82 g (100,00 % khối lượng)

* Các mẻ bột đồng mịn khác nhau được sử dụng để làm thay đổi diện tích bề mặt của bột đồng mịn để tạo ra bột nhão 31, 32, và 33.

** Lượng propylen glycol sẽ được điều chỉnh để tạo ra bột nhão với độ nhớt khác nhau.

Ví dụ 14. Sự ảnh hưởng của hạt oxit thứ cấp và hạt nano lên tính chất điện của bột nhão

Trong ví dụ này, sự ảnh hưởng của hạt oxit thứ cấp (ví dụ Sb₂O₃) và hạt nano (ví dụ Cu/Ni/Pb) lên điện trở suất khối (ρ) và điện trở suất tiếp xúc (ρ_c) được chứng tỏ. Antimony, Sb, là chất pha tạp kiểu n đã biết đối với silic và được đưa vào như là một lộ trình để có thể tạo thành vùng n⁺ bên dưới tiếp điểm. Trong ví dụ này, oxit antimon có bán trên thị trường với phạm vi kích thước hạt là 1,1 – 1,8 µm được sử dụng. Oxit antimony có điểm nóng chảy thấp (656 °C) và dưới oxit niken, NiO trên giản đồ Ellingham. Do đó, yêu cầu một năng lượng đầu vào tương tự, để được khử thành dạng nguyên tố. Ngoài ra, vị trí của nó có nghĩa là antimon có thể khử oxit của các nguyên tố khác (Ni, Cu, Pb) trong bột nhão, dẫn đến tiếp điểm dẫn điện hơn. Một thiết kế dạng nhân tố của phương pháp thực nghiệm được sử dụng để đưa antimon oxit vào bột nhão. Trong trường hợp này, oxit được coi là một phần của hệ thống thủy tinh frit (ngoài hạt nano Cu/Ni/Pb) phản ứng hóa học với lớp

SiN. Lượng thủy tinh frit trong bột nhão được giữ nguyên không đổi và tỷ lệ của hạt nano và hạt oxit thứ cấp được thay đổi theo ma trận thiết kế 2² bằng cách sử dụng các giá trị “cao” hoặc “thấp” được xác định trước cho hai thành phần. Điều này dẫn đến bốn tổ hợp bột nhão có thể có, được trộn lẫn, được in lụa trên các pin mặt trời silic đơn tinh thể, và được nung ở 690 °C trong 3 giây trong không khí (sử dụng phương pháp nung gạch). Ảnh hưởng của việc sử dụng lượng cao và thấp của các hạt oxit thứ cấp trong bột nhão lên điện trở suất khối, điện trở tiếp xúc, cũng như năng suất PV của thiết bị đã được nghiên cứu. Các bảng 16, 17, và 18 (dưới đây liệt kê thành phần bột nhão trong ma trận thiết kế.

Các Fig. 25A, 25B, 25C, 25D, 25E, và 25F minh họa sự ảnh hưởng và sự tương của việc thay đổi các mức hạt nano Cu/Ni/Pb và các hạt Sb₂O₃ trong bột nhão lên điện trở suất khối ρ (Fig. 25A), điện trở suất tiếp xúc ρ_c (Fig. 25B), mật độ dòng ngắn mạch J_{sc} (Fig. 25C), hệ số lấp đầy FF (Fig. 25D), điện thế mạch hở V_{oc} (Fig. 25E), và hiệu suất η (Fig. 25F) từ 2² ma trận thiết kế nhân tố.

Việc đưa oxit thứ cấp vào bột nhão có ảnh hưởng lớn đến việc cải thiện cả điện trở suất khối lẫn điện trở suất tiếp xúc; và vì thế năng suất PV tổng thể của bột nhão. Hình ảnh SEM (không được thể hiện) của các tiết diện đã thể hiện khả năng kết nối giữa các hạt đồng, nhưng vẫn có mức độ lỗ xốp lớn còn lại trong các màng.

Bảng 16

	A: Hạt nano Cu/Ni/Pb	B: Oxit antimony
Giá trị (-) thấp	9,0 g	5,6 g
Giá trị (+) cao	12,6 g	8,4 g

Bảng 17

Bột nhão ID	A: Hạt nano Cu/Ni/Pb	B: Oxit antimony
BTF_RD_SP5	0,6190	0,3810
BTF_RD_SP6	0,6923	0,3077
BTF_RD_SP7	0,5200	0,4800
BTF_RD_SP8	0,6000	0,4000

Bảng 18

Vật liệu	Bột nhão 34	Bột nhão 35	Bột nhão 36	Bột nhão 37
Chất kết dính hữu cơ: PVP 40000	4,46 g (3,60 % khối lượng)	5,56 g (3,60 % khối lượng)	5,43 g (3,60 % khối lượng)	6,41 g (3,60 % khối lượng)
Dung môi hữu cơ: Propylen Glycol	14,28 (11,52 % khối lượng)	17,80 (11,52 % khối lượng)	17,37 (11,52 % khối lượng)	20,53 (11,52 % khối lượng)
Hạt nano A/B/C: Hạt nano Cu/Ni/Pb	9,00 g (7,26 % khối lượng)	12,60 g (8,16 % khối lượng)	9,00 g (5,97 % khối lượng)	12,60 g (7,07 % khối lượng)
Oxit thứ cấp: Sb ₂ O ₃	5,60 g (4,52 % khối lượng)	5,60 g (3,62 % khối lượng)	8,40 g (5,57 % khối lượng)	8,40 g (4,71 % khối lượng)
Bột Cu/D: Bột Cu vảy 10 – 22 µm	90,59 g (73,09 % khối lượng)	112,92 g (73,09 % khối lượng)	110,20 g (73,09 % khối lượng)	130,30 g (73,09 % khối lượng)
Tổ hợp A/B được sử dụng trong thiết kế nhân tố 2 ²	Thấp/Thấp	Cao/Thấp	Thấp/Cao	Cao/Cao

Ví dụ 15. Các hạt oxit thứ cấp hoạt động như chất lỏng nung kết

Mong muốn là ngón tay có vi cấu trúc chặt hơn để hạ điện trở suất của các tiếp điểm, và vì thế trở thành điện trở nối tiếp của thiết bị. Hạt oxit thứ cấp, chẳng hạn hạt oxit antimon, hoạt động như chất trợ thiêu kết lỏng do điểm nóng chảy tương đối thấp của chúng (đối với Sb₂O₃, nhiệt độ nóng chảy là 656 °C). Tỷ lệ hạt oxit thứ cấp cao hơn trong bột nhão dẫn đến nhiệt độ nung kết thấp hơn và/hoặc quá trình nung kết nhanh hơn, cũng như mật độ của tiếp điểm.

Bảng 19 thể hiện thành phần của Bột nhão 38 sử dụng hỗn hợp 70:30 của các hạt chứa đồng thô và các hạt chứa đồng mịn (hỗn hợp tương tự với Bột nhão 5). Lượng hạt oxit thứ cấp tăng lên đến khoảng 22 % khối lượng. Các Fig. 26A và 26B thể hiện rằng mặc dù các hạt chứa đồng có vẻ dày đặc hơn, nhưng các khoảng trống lớn vẫn tồn tại trong vi

cấu trúc, gây ra sự tách lớp của các tiếp điểm đồng khối nền silic. Kiểm tra các tiếp điểm đã tách lớp bằng hộp đèn, cho thấy rằng các tiếp điểm vẫn còn một lượng lỗ xốp đáng kể.

Bảng 19 - Bột nhão Id.: Bột nhão 38

Vật liệu	Tỷ lệ khối lượng của bột khác nhau	Khối lượng (g)	Thể tích (cm ³)	Thể tích xếp chặt (cm ³)	Khoảng trống (cm ³)	% khối lượng (của bột nhão)	% thể tích (chỉ chất rắn)
Bột Cu hình cầu 10 – 22 μm (Cu112SP, Chemical Store)	70	116,05	12,95	20,27	7,32	47,00	38,86
Bột Cu hình cầu 7,5 – 14,7 μm (610, ACuInternational)	–	–	–	–	–	–	–
Bột Cu hình cầu 1,8 – 7,7 μm (603, ACuInternational)	–	–	–	–	–	–	–
Bột Cu mịn 1,2 – 3,2 μm (C1-2000, Ames 30 Goldsmith)	–	49,74	5,55	8,69	3,14	20,14	16,66
Sb ₂ O ₃	–	55,00	10,58	16,55	5,98	22,27	31,74
Hạt nano Ni/Ni/Pb×9,2	–	2,75	0,33	0,52	0,19	1,11	1,00
PVP 40000	–	4,70	3,92	–	–	1,90	11,75
Propylen Glycol	–	18,68	17,96	–	–	7,57	–
Tổng cộng	100	246,92	33,33	–	–	100,00	100,00

Để làm dày đặc các tiếp điểm hơn nữa, mà không gây ra sự tách lớp và khoảng trống trong vi cấu trúc, các hạt chứa đồng cần phải xếp chặt với nhau càng chặt chẽ càng tốt và có phần trăm thể tích lớn hơn trong tiếp điểm. Để cải thiện mật độ của tiếp điểm, nghiên cứu mật độ xếp chặt của các hạt chứa đồng được thực hiện bằng cách sử dụng bột hình cầu

được thể hiện trên bảng 8 (ở trên) của Ví dụ 11. Các phép tính được thực hiện với giả định rằng các loại bột có hệ số xếp chặt tối đa là 0,639 và các bột hình cầu nhỏ hơn chiếm không gian trống giữa các hạt đồng lớn. Khi giá trị này được tính toán, bột đồng mịn nhất (1,2 - 3,2 μm) được thêm vào với 30% khối lượng của bột đồng trong bột nhão. Những tính toán này dẫn đến sự pha trộn sau đây của các hạt chứa đồng: 37 % khối lượng (10 – 22 μm), 21 % khối lượng (7,5 – 14,7 μm), 12 % khối lượng (1,8 – 7,7 μm), và 30 % khối lượng (1,2 – 3,2 μm). Fig. 22(d) thể hiện ví dụ về mặt cắt của tiếp điểm được in bằng hỗn hợp của các kích thước hạt này. Mặc dù tiếp điểm vẫn cho thấy mức độ xốp cao, nhưng số lượng các liên kết giữa các hạt tăng lên dường như đã làm giảm kích thước của các lỗ xốp.

Tác dụng của các hạt oxit thứ cấp như một chất trợ thiêu kết lỏng đã được nghiên cứu bằng cách tăng tỷ lệ % thể tích của các hạt oxit trong bột nhão chứa hỗn hợp của bốn loại bột chứa đồng với các kích thước hạt khác nhau. Thành phần của bột nhão được thể hiện trên bảng 20.

Bảng 20

Vật liệu	Bột nhão 1	Bột nhão 40	Bột nhão 39
Chất kết dính hữu cơ: PVP 40000	5,75 g (1,51 % khối lượng)	5,99 g (1,51 % khối lượng)	6,27 g (1,51 % khối lượng)
Dung môi hữu cơ: Propylen Glycol	24,96 (6,55 % khối lượng)	26,01 (6,55 % khối lượng)	27,21 (6,55 % khối lượng)
Hạt nano A/B/C: Hạt nano Ni/Ni/Pb $\times$ 9,2	5,45 g (1,43 % khối lượng)	5,45 g (1,37 % khối lượng)	5,45 g (1,31 % khối lượng)
Oxit thứ cấp: Sb ₂ O ₃	19,00 g (4,98 % khối lượng)	33,72 g (8,49 % khối lượng)	50,55 g (12,16 % khối lượng)
Bột Cu/S: Bột Cu mịn 1,2 – 3,2 μm	97,85 g (25,66 % khối lượng)	97,85 g (24,63 % khối lượng)	97,85 g (23,54 % khối lượng)

Bột Cu/D:	38,68 g	38,68 g	38,68 g
Bột Cu hình cầu 1,8 – 7,7 μm	(10,14 % khối lượng)	(8,89 % khối lượng)	(9,31 % khối lượng)
Bột Cu/D:	68,46 g	68,46 g	68,46 g
Bột Cu hình cầu 7,5 – 14,7 μm	(17,95 % khối lượng)	(15,74 % khối lượng)	(16,47 % khối lượng)
Bột Cu/D:	121,18 g	121,18 g	121,18 g
Bột Cu hình cầu 10 – 22 μm	(31,78 % khối lượng)	(30,50 % khối lượng)	(29,15 % khối lượng)

Các Fig. 27A, 27B, và 27C thể hiện sự ảnh hưởng của việc tăng lượng hạt oxit thứ cấp từ (a) 4,98 (Bột nhão 1), đến (b) 8,49 (Bột nhão 40) và (c) 12,16 (Bột nhão 39) % khối lượng lên vi cấu trúc. Thể tích oxit thứ cấp trong tiếp điểm càng cao, thì vi cấu trúc càng chặt. Tuy nhiên, khi các hạt chứa đồng tạo thành tiếp điểm chặt hơn, cấu trúc sẽ co lại, và lực mao dẫn đẩy oxit thứ cấp ra khỏi lỗ hẹp hơn. Do sự nén chặt và co ngót, các bản in bị bong ra khỏi chất nền silic. Các hình vuông được đặt lên hộp đèn, để quan sát độ xốp của bản in được nung. Tiếp điểm được in bằng bột nhão chứa 8,49 % khối lượng và 12,16 % khối lượng của oxit antimon dẫn đến việc tiếp điểm không bám chặt vào pin silic. Một nhóm oxit antimon (và hạt nano) đã bị khử thành dạng kim loại của chúng trong quá trình nung cũng có thể được quan sát ở đáy của tiếp điểm, xem Fig. 28A và 28B.

Trên các Fig. 28A và 28B, ảnh của các hình vuông được in bột nhão 39 được thể hiện với Fig. 28A thể hiện mặt trước và Fig. 28B thể hiện mặt sau của mẫu. Do sự nén chặt và co ngót, các bản in bị bong ra khỏi chất nền silic. Các hình vuông được đặt lên hộp đèn, để quan sát độ xốp trong bản in được nung.

Ví dụ 16. Sự ảnh hưởng của hạt oxit thứ cấp và hạt nano lên chức năng khắc ăn mòn của bột nhão và điều kiện nung

Trong ví dụ này, vai trò của hạt oxit thứ cấp và hạt nano đối với chức năng khắc ăn mòn của bột nhão được chứng tỏ. Tổng diện tích bề mặt đóng góp của các hạt chứa đồng được sử dụng trong bột nhão được cố định ở $0,74 \text{ m}^2$ cho mỗi gam bột nhão. Bột nhão được in và được nung bằng cách sử dụng thiết lập sau đây.

Pin được nung trong lò nung bán tự động. Hệ thống bao gồm ống thạch anh dài hàng mét với thể tích xấp xỉ 2,4 L. Lò được xây dựng với vùng nhiệt độ thấp (vùng 1) và vùng nhiệt độ cao (vùng 2) dọc theo chiều dài của ống thạch anh. Khí nén với tốc độ dòng là 1 L/phút được đưa vào từ đầu vùng 1. Pin được đặt trên một khung lưới nichrome, đã được tự động hóa bằng cách sử dụng động cơ bước và chương trình phần mềm Arduino, để kiểm soát tốc độ di chuyển của pin. Tốc độ S có mối quan hệ nghịch đảo với thời gian T để pin di chuyển từ vùng 1 đến vùng 2 theo ($T = 38,74S^{-1}$). Nhiệt độ điểm đặt của vùng 1 và vùng 2 lần lượt là 150 °C và 753 °C. Trong quy trình nung, pin được đặt lên lưới nichrome và được di chuyển trong vùng 1 ở tốc độ, S , trong đó nó được giữ trong thời gian 180 giây. Sau đó pin được di chuyển đến vùng 2 ở tốc độ, S và được giữ trong vùng 2 trong thời gian, $t_{giữ}$. Sau đó khung được chuyển trở lại lúc đầu với vận tốc 32,4 cm/giây. Điều này đã đưa khung trở lại ban đầu trong vòng chưa đầy 2 giây. Pin sau đó được đưa ra khỏi khung và nhanh chóng được làm lạnh đến nhiệt độ phòng bằng cách đặt nó lên một tấm kim loại.

Fig. 29A, 29B, 29C, 29D, và 29E thể hiện năng suất dòng điện – điện thế (I-V) của bột nhão từ bảng 21; được nung bằng cách sử dụng phương pháp được mô tả ở trên. Thời gian giữ trong vùng 2 được thay đổi từ 1 giây sang 5 giây. Bột nhão không chứa oxit thứ cấp (Bột nhão 9) có thể khắc ăn mòn qua lớp SiN bằng cách sử dụng thời gian giữ ít hơn 1 giờ. Tuy nhiên, bột nhão này, khắc ăn mòn quá sâu, dẫn đến hạ năng suất PV. Việc bổ sung lượng nhỏ hạt oxit thứ cấp (ví dụ oxit antimon) vào bột nhão (Bột nhão 10), hoạt động như lớp chặn cho hạt nano, và vì thế làm chậm việc khắc ăn mòn được thực hiện bởi hạt nano. Kết quả là, thời gian giữ 3 giây được yêu cầu trước khi bột nhão được khắc ăn mòn qua lớp SiN và tạo ra tiếp điểm điện tốt cho pin. Việc tăng thêm oxit thứ cấp (Bột nhão 11, Bột nhão 12, và Bột nhão 13) dẫn đến thời gian giữ được giảm xuống 2 giây. Oxit thứ cấp cũng hoạt động như chất khắc ăn mòn. Nhưng, không giống như vật liệu của hạt nano, trong quá trình nung, vật liệu oxit thứ cấp nóng chảy có vẻ ướt và khắc ăn mòn lớp SiN đồng đều hơn so với vật liệu hạt nano. Được tin rằng tỷ lệ hạt nano nhỏ hơn cần để khắc ăn mòn qua lớp phủ SiN và cho phép ngón tay có thể tích đồng cao hơn. Bằng cách thay đổi tỷ lệ của hạt nano và hạt oxit thứ cấp trong bột nhão, điều kiện nung có thể được kiểm soát.

Bảng 21

Vật liệu/Bột nhão	Bột nhão 9	Bột nhão 10	Bột nhão 11	Bột nhão 12	Bột nhão 13
ID					
Chất kết dính hữu cơ: PVP 40000	2,76 g (1,53 % khối lượng)	2,79 g (1,53 % khối lượng)	2,83 g (1,53 % khối lượng)	2,88 g (1,53 % khối lượng)	2,92 g (1,52 % khối lượng)
Dung môi hữu cơ: Propylen Glycol	9,47 g (5,24 % khối lượng)	9,54 g (5,23 % khối lượng)	9,88 g (5,23 % khối lượng)	10,18 g (5,40 % khối lượng)	10,57 g (5,51 % khối lượng)
Hạt nano A/B/C:	2,75 g	2,75 g	2,75 g	2,75 g	2,75 g
Hạt nano Ni/Ni/Pb	(1,52 % khối lượng)	(1,51 % khối lượng)	(1,48 % khối lượng)	(1,46 % khối lượng)	(1,43 % khối lượng)
Oxit thứ cấp: Sb ₂ O ₃	0 g (0 % khối lượng)	1,38 g (0,76 % khối lượng)	4,13 g (2,23 % khối lượng)	6,88 g (3,65 % khối lượng)	9,64 g (5,06 % khối lượng)
Bột Cu/D:	49,74 g	49,74 g	49,74 g	49,74 g	49,74 g
Cu/Ni(?)P – bột đồng mịn (1,2 – 3,2 micron)	(27,52 % khối lượng)	(27,29 % khối lượng)	(26,83 % khối lượng)	(26,39 % khối lượng)	(25,95 % khối lượng)
Bột Cu/D:	116,05 g	116,05 g	116,05 g	116,05 g	116,05 g
Cu/Ni(?)P – bột đồng hình cầu lớn (10 – 20 micron)	(64,20 % khối lượng)	(63,68 % khối lượng)	(62,60 % khối lượng)	(61,57 % khối lượng)	(60,55 % khối lượng)
Tổng % thể tích Cu (chỉ chất rắn)	87,53 % tích	86,37 % tích	84,15 % tích	82,03 % tích	80,02 % tích
Các tỷ lệ hạt chứa đồng/NP (khối lượng)	60,29	60,29	60,29	60,29	60,29
Tỷ lệ oxit thứ cấp/NP (khối lượng)		0,50	1,50	2,50	3,51
Tỷ lệ của các hạt chứa đồng và oxit		120,14	40,14	24,10	17,20

thứ cấp (khối
lượng)

Ví dụ 17. Hiệu quả diện tích bề mặt của các hạt chứa đồng với niken lên chức năng khắc ăn mòn của bột nhão và điều kiện nung

Ví dụ này thể hiện ảnh hưởng của các hạt chứa đồng lên các điều kiện khắc ăn mòn và nung của bột nhão. Bảng 6 thể hiện các thành phần của bột nhão được sử dụng trong ví dụ này. Tất cả bột nhão đã sử dụng hạt oxit thứ cấp có tỷ lệ oxit antimon và hạt nano (Ni/Ni/Pb) là 1,50. Tỷ lệ của hạt nano niken trong lớp phủ bao quanh hạt đồng được định lượng thông qua diện tích bề mặt của bột đồng được phủ.

Để thay đổi tỷ lệ các hạt nano niken trong bột nhão, diện tích bề mặt của các hạt chứa đồng mịn trong bột nhão đã thay đổi. Điều này được thực hiện bằng cách trộn các mẻ bột đồng khác nhau với diện tích bề mặt là 1,13, 2,61 và 25,63 m²/g để tạo ra bột nhão có chứa 0,74 (Bột nhão 11), 0,83 (Bột nhão 14), 1,01 (Bột nhão 15) và 1,10 (Bột nhão 16) m² các hạt chứa đồng trong một gam bột nhão.

Các mẫu được nung bằng cách sử dụng quy trình nung được mô tả trong Ví dụ 16. Pin được nung bằng cách sử dụng nhiệt độ vùng 2 là 753 °C, 778 °C, và 803 °C với tốc độ giai đoạn là 1,43 cm/giây. Bảng 22 (dưới đây) thể hiện thời gian mà pin được giữ trong vùng 2 để khắc ăn mòn qua lớp SiN và tiếp xúc để tạo ra FF > 0,6. Như được thể hiện, thời gian cần thiết tăng lên khi diện tích bề mặt của các hạt chứa đồng tăng. Khi nhiệt độ vùng 2 cao nhất (tức là, 803 °C) được sử dụng, các hạt niken trên hạt đồng không còn hỗ trợ làm chậm quá trình khắc ăn mòn và thực sự dẫn đến việc pin bị nung quá mức.

Bảng 22

Thời gian giữ trong vùng 2 (giây)	Nhiệt độ vùng 2 (°C)		
Diện tích bề mặt đóng góp từ các hạt chứa đồng (m ² mỗi gam bột nhão)	753 °C	778 °C	803 °C
0,74 m ² mỗi gam bột nhão	3 giây	2 giây	0 giây
0,83 m ² mỗi gam bột nhão	4 giây	3 giây	1 giây
1,01 m ² mỗi gam bột nhão	6 giây	3 giây	2 giây (nung quá mức)

1,10 m ² mỗi gam bột nhão	6 giây	4 giây	2 giây (nung quá mức)
--------------------------------------	--------	--------	-----------------------

Ví dụ 18. Ảnh hưởng của thời lượng nung đến năng suất trong các thử nghiệm lão hóa nhanh

Ví dụ này thể hiện sự ảnh hưởng của điều kiện nung đối với độ bền của pin trong điều kiện lão hóa tăng tốc. Bột nhão được sử dụng để mạ kim loại pin mặt trời silic đơn tinh thể với tiếp điểm phía sau Al BSF hoàn toàn. Bột nhão (Bột nhão 15) được thể hiện trên bảng 6 đã sử dụng toàn bộ 1,01 m² các hạt chứa đồng với niken trên mỗi gam bột nhão. Pin được nung bằng cách sử dụng quy trình được mô tả trên Ví dụ 16 và tốc độ giai đoạn là 1,43 cm/giây và nhiệt độ vùng 2 là 753 °C. Thời gian pin được giữ trong vùng 2 được thay đổi. Các Fig. 30F-30H thể hiện các ví dụ minh họa của các đường cong I-V của pin lần lượt được giữ trong 4, 5 và 6 giây ở 753 °C. Pin được chịu ứng suất nhiệt ở 200 °C trong thời gian lên đến 200 giờ và năng suất PV của thiết bị trong thời gian thử nghiệm cũng được thể hiện trên các Fig. 30A-30E. Không bị ràng buộc bởi lý thuyết, được tin rằng các hạt nano tạo ra đường dẫn điện qua mặt phân cách thủy tinh và cũng tạo thành "gai" trên bề mặt của silic. Kết quả cho thấy sự ảnh hưởng của việc tăng thời gian nung đối với tuổi thọ của pin, với các pin thể hiện tuổi thọ được cải thiện sau khi nung trong thời gian nung lâu hơn.

Ví dụ 19: Tỷ lệ của oxit thứ cấp và hạt nano

Hạt oxit thứ cấp, hạt nano, và các hạt từ các hạt chứa đồng được phủ trong bột nhão tạo thành chất trợ thiêu kết dạng lỏng trong quá trình nung, dẫn đến việc ngón tay tạo thành tiếp điểm chặt hơn. Hạt nano chứa oxit/hydroxit chì, mà khi được kết hợp với các vật liệu khác làm hạ điểm nóng chảy của hỗn hợp. Khi vật liệu hữu cơ cháy hết, nó có thể đẩy các giọt chất trợ thiêu kết dạng lỏng ra khắp bề mặt tế bào. Các giọt nhỏ này có thể tạo ra một khuyết tật thẩm mỹ không mong muốn trên bề mặt của pin. Khuyết tật trên bề mặt này được cho là cản trở số lượng photon đến vùng hoạt động của pin, và do đó làm giảm công suất phát ra. Bằng cách thay đổi tỷ lệ của oxit thứ cấp với tỷ lệ hạt nano, lượng giọt xuất hiện trên bề mặt có thể được kiểm soát (các Fig. 32(a)-(f)). Trên các Fig. 32(a)-(f), áp dụng như sau: hình ảnh hiển vi quang học của ngón tay sau khi nung. Khối lượng bột nhão được sử dụng để in ngón tay là khoảng 4 mg trên mỗi 1/16th (4×4 cm²) pin (khoảng 64 mg cho mỗi pin đầy đủ). (a) Ngón tay được in bằng bột nhão không chứa hạt nano (Bột nhão 42).

Ngón tay trong các hình ảnh còn lại được in bằng ngón tay chứa tỷ lệ oxit thứ cấp và hạt nano là (b) 16,75 (Bột nhão 43), (c) 8,37 (Bột nhão 44), (d) 5,58 (Bột nhão 45), (e) 4,19 (Bột nhão 46) và (f) 3,35 (Bột nhão 47). Bảng 23 (dưới đây) thể hiện các thành phần của bột nhão được tạo ra không chứa hạt nano, và chứa tỷ lệ của hạt oxit thứ cấp và hạt nano là 16,75, 8,37, 5,58, 4,19, và 3,35.

Bảng 23

Vật liệu/Bột nhão ID	Bột nhão 42	Bột nhão 43	Bột nhão 44	Bột nhão 45	Bột nhão 46	Bột nhão 47
Chất kết dính hữu cơ: PVP 40000	4,26 g (2,06 % khối lượng)	4,28 g (2,06 % khối lượng)	4,31 g (2,05 % khối lượng)	4,34 g (2,05 % khối lượng)	4,36 g (2,05 % khối lượng)	4,39 g (2,04 % khối lượng)
Dung môi hữu cơ: Dipropylen Glycol	18,59 g (8,97 % khối lượng)	18,71 g (8,98 % khối lượng)	19,35 g (9,42 % khối lượng)			20,24 g (9,43 % khối lượng)
Dung môi hữu cơ: Tripropylen Glycol				19,85 g (9,37 % khối lượng)	20,09 g (9,42 % khối lượng)	
Hạt nano A/B/C:	0 g	1,11 g	2,22 g			
Hạt nano Ni/Ni/Pb (Hàm lượng Pb cao hơn)	0 g (0 % khối lượng)	1,11 g (0,53 % khối lượng)	2,22 g (1,06 % khối lượng)	3,33 g (1,57 % khối lượng)	4,44 g (2,08 % khối lượng)	5,55 g (2,59 % khối lượng)
Oxit thứ cấp: Sb ₂ O ₃	18,59 g (8,97 % khối lượng)	18,59 g (8,92 % khối lượng)	18,59 g (8,84 % khối lượng)	18,59 g (8,77 % khối lượng)	18,59 g (8,72 % khối lượng)	18,59 g (8,66 % khối lượng)
Bột Cu/D: Cu/Ni(?)P – bột đồng mịn (1,2 – 3,2 micron)	165,79 g (80,00 % khối lượng)	165,79 g (79,52 % khối lượng)	165,79 g (78,85 % khối lượng)	165,79 g (78,24 % khối lượng)	165,79 g (77,74 % khối lượng)	16,79 g (77,27 % khối lượng)
Tỷ lệ của oxit thứ cấp và hạt nano	-	16,75	8,37	5,58	4,19	3,35
Tổng diện tích bề mặt đối với bột đồng trên mỗi gam bột nhão (m ² mỗi gam bột nhão)	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,60

Lượng bột nhão được sử dụng để in ngón tay tác động trực tiếp đến tỷ lệ giữa hạt oxit thứ cấp và hạt nano tối đa có thể được sử dụng; với ngón tay sử dụng ít bột nhão có thể chịu được tỷ lệ nhỏ hơn tương đối, trước khi khiếm khuyết thẩm mỹ này trở thành vấn đề. Tuy nhiên, bột nhão sử dụng tỷ lệ cao hơn, đòi hỏi tỷ lệ tổng lượng thủy tinh cao hơn (tức là, oxit thứ cấp và hạt nano được kết hợp), do oxit thứ cấp là chất khắc ăn mòn ít hoạt động hơn hạt nano. Khi kích thước chiều rộng ngón tay (W) giảm (xem Fig. 6), lượng chất khắc ăn mòn cho mỗi diện tích đơn vị giảm xuống. Vì thế, tỷ lệ này có thể giảm thêm khi chiều rộng ngón tay được giảm. Ví dụ 16 (bảng 21) thể hiện bột nhão với tỷ lệ là 0,50. Bảng 21 cũng thể hiện bột nhão không chứa hạt oxit thứ cấp và chỉ có hạt nano, với bảng 23 thể hiện bột nhão không chứa hạt nano và chỉ chứa hạt oxit thứ cấp.

Ví dụ 20: Sự ảnh hưởng của kích thước ngón tay lên thành phần bột nhão

Ví dụ này minh họa tác động của kích thước ngón tay lên thành phần của bột nhão. Kích thước ngón tay có thể giảm khi giảm số lượng dấu in, dẫn đến giảm chiều cao của ngón tay. Chiều cao cũng như chiều rộng của ngón tay cũng có thể thay đổi bằng cách giảm kích thước của mẫu, lưới và độ đặc nhũ tương được sử dụng bằng lưới trong quá trình lựa.

Việc giảm chiều cao của ngón tay đã làm giảm lượng bột nhão của pin. Việc này làm giảm tỷ lệ của hạt nano và hạt oxit thứ cấp có thể sử dụng trên mỗi diện tích đơn vị. Ở tâm điểm, lượng vật liệu này là không đủ để khắc ăn mòn qua lớp phủ chống phản xạ. Tốc độ khắc ăn mòn của hạt nano và hạt oxit thứ cấp kết hợp được giảm bởi hạt được phủ lên các hạt chứa đồng. Càng nhiều hạt trong bột nhão, thì càng cần nhiều hạt nano và hạt oxit thứ cấp. Tuy nhiên, khi tỷ lệ của các vật liệu này tăng, điện trở suất khối sẽ dần dần giảm. Lượng hạt trong bột nhão được xác định bởi diện tích bề mặt của các hạt chứa đồng được phủ.

Lượng điện tạo ra bởi pin mặt trời phụ thuộc vào số lượng photon ánh sáng tới được pin. Do đó, diện tích được bao phủ bởi bộ phận dẫn điện càng lớn thì, càng ít photon đến được pin và điện lượng càng thấp. Để giảm kích thước của ngón tay, và vì thế lượng bột nhão được sử dụng để in ngón tay mà không tác động đến năng suất của thiết bị, diện tích bề mặt đối với hạt chứa đồng cho mỗi gam bột nhão cần phải giảm xuống. Để giảm chiều rộng ngón tay, kích thước lỗ mẫu trên lưới phải giảm. Do đó, kích thước hạt tối đa theo lý

thuyết phải nhỏ hơn ít nhất 2,5 lần so với lỗ của lưới, kích thước hạt trung bình cũng cần phải giảm. Hạt chứa đồng có các hạt lớn nhất trong bột nhão. Do đó, việc giảm phạm vi phân bố kích thước hạt của vật liệu này một cách tự nhiên dẫn đến tăng lượng lớp phủ trong bột nhão. Khi phạm vi kích thước hạt của các hạt chứa đồng thô trong bột nhão được giảm từ phạm vi kích thước hạt từ 10 – 22 μm đến 7,5 – 14,7 μm , tỷ lệ của chất kết dính trong bột nhão được tăng lên, do diện tích bề mặt lớn hơn tạo ra bột dễ bị oxy hóa hơn trong quá trình nung. Bột nhão được in bằng pin mặt trời silic đa tinh thể và được nung bằng lò nung bán tự động giống như được mô tả trong Ví dụ 16. Các Fig. 33(a) và 33(b) thể hiện tác động của việc tăng lượng thủy tinh frit và diện tích bề mặt đóng góp của các hạt chứa đồng lên lượng bột nhão cần để duy trì hệ số lấp đầy của thiết bị. Trên các Fig. 33(a) và 33(b), áp dụng như sau: sự ảnh hưởng của việc tăng lượng thủy tinh frit trong bột nhão lên năng suất PV (hệ số lấp đầy, FF); như là hàm của khối lượng được in đối với bột nhão được tạo ra bằng cách sử dụng bột chứa đồng, diện tích bề mặt đóng góp là (a) 0,80 và (b) 0,57 m^2 cho mỗi gam bột nhão. Pin được nung bằng cách sử dụng tốc độ giai đoạn = 1,43 cm/giây, vùng 1 = 192 °C, vùng 2 = 820 °C, dòng không khí = 5 L/phút, vùng 2 thời gian giữ = 5 giây. Pin được in bằng 17, ngón tay rộng 100 μm trên $4 \times 4 \text{ cm}^2$ pin silic đa tinh thể. Các thành phần của bột nhão được thể hiện trên bảng 24 (dưới đây). Bột nhão đã sử dụng tỷ lệ oxit thứ cấp và hạt nano là khoảng 16,75. Kết quả đã thể hiện rằng việc giảm khối lượng bột nhão cần để in ngón tay có thể đạt được bằng cách giảm diện tích bề mặt đóng góp của các hạt chứa đồng từ khoảng 0,80 đến khoảng 0,57 m^2 mỗi gam bột nhão. Diện tích bề mặt đóng góp của các hạt chứa đồng được kiểm soát bằng cách làm giảm diện tích bề mặt của bột đồng mịn trong bột nhão từ 2,41 m^2/g đến 1,61 m^2/g . Cho đến nay, lượng bột nhão được sử dụng để in ngón tay được kiểm soát bằng số lượng mẫu in, mà là, 3 mẫu in. Việc giảm diện tích bề mặt dẫn đến quy trình in có thể sử dụng phương pháp in kép để đạt được thiết bị với năng suất tương tự.

Bảng 24

Vật liệu/Bột nhão ID	Bột nhão 48	Bột nhão 49	Bột nhão 50	Bột nhão 51	Bột nhão 52	Bột nhão 53
Chất kết dính hữu cơ:	4,48 g	4,65 g	4,82 g	4,99 g	4,65 g	4,82 g
PVP 40000	(2,37 % khối lượng)	(2,37 % khối lượng)	(2,37 % khối lượng)	(2,37 % khối lượng)	(2,37 % khối lượng)	(2,37 % khối lượng)

Dung môi hữu cơ:	12,46 g	12,94 g	13,41 g	13,89 g	12,94 g	13,41 g
Propylen Glycol	(6,58 % khối lượng)	(6,58 % khối lượng)	(6,58 % khối lượng)	(6,58 % khối lượng)	(6,58 % khối lượng)	(6,58 % khối lượng)
Hạt nano A/B/C:	0,37 g	0,74 g	1,11 g	1,48 g	0,74 g	1,11 g
Hạt nano Ni/Ni/Pb	(0,20 % khối lượng)	(0,38 % khối lượng)	(0,54 % khối lượng)	(0,70 % khối lượng)	(0,38 % khối lượng)	(0,54 % khối lượng)
Oxit thứ cấp: Sb ₂ O ₃	6,20 g (3,28 % khối lượng)	12,39 g (6,31 % khối lượng)	18,59 g (9,31 % khối lượng)	24,78 g (11,75 % khối lượng)	12,39 g (6,31 % khối lượng)	18,59 g (9,13 % khối lượng)
Bột Cu/D: Cu/Ni(?)P – bột đồng mịn (1,2 – 3,2 micron)	49,74 g (26,28 % khối lượng)	49,74 g (25,31 % khối lượng)	49,74 g (24,42 % khối lượng)	49,74 g (23,58 % khối lượng)	49,74 g (25,31 % khối lượng)	49,74 g (24,42 % khối lượng)
Bột Cu/D: Cu/Ni(?)P – bột đồng hình cầu (7,5 – 14,7 micron)	116,05 g (61,30 % khối lượng)	116,05 g (59,06 % khối lượng)	116,05 g (56,96 % khối lượng)	116,05 g (55,02 % khối lượng)	116,05 g (59,06 % khối lượng)	116,05 g (56,96 % khối lượng)
Tỷ lệ của oxit thứ cấp và hạt nano	16,76	16,74	16,75	16,74	16,74	16,75
Tổng lượng thủy tinh frit	3,48 % khối lượng	6,69 % khối lượng	9,67 % khối lượng	12,45 % khối lượng	6,69 % khối lượng	9,67 % khối lượng
Tổng diện tích bề mặt đối với bột đồng trên mỗi gam bột nhão (m ² mỗi gam bột nhão)	0,80	0,78	0,75	0,72	0,57	0,55

Quá trình in lụa được giảm xuống chỉ còn một bản in bằng cách giảm diện tích bề mặt của bột đồng mịn xuống 1,15 m²/g; do đó dẫn đến tổng diện tích bề mặt đóng góp từ hạt chứa đồng là 0,40 m² trên một gam bột nhão. Các pin Si đa tinh thể có kích thước đầy đủ được in bằng cách sử dụng bột nhão với 0,40 m² mỗi gam bột nhão và tỷ lệ giữa oxit thứ cấp và hạt nano nằm trong khoảng từ 16,70 đến 16,75. Tỷ lệ của chất kết dính in bột nhão được tăng từ 1,69 đến 2,32 % khối lượng. Pin được nung trong lò nung đai IR TP Solar Model M-225 (Neutrino Series). Lò chứa sáu vùng được gia nhiệt và vùng làm mát dài hơn khoảng 30% chiều dài kết hợp của các vùng được gia nhiệt. Các vùng được xây dựng sao cho phía trước và phía sau của pin được gia nhiệt đồng thời bằng cách sử dụng

đèn nhiệt hồng ngoại. Nhiệt độ đối với các vùng từ 1 đến 5 là lần lượt là 620, 460, 440, 450 và 520 °C. Vùng 6 được thay đổi từ 665 °C đến 690 °C. Tốc độ đai được thay đổi từ 225 – 400 in/phút. Pin được chia thành các mẫu 4×4 cm² để đo năng suất PV. Các Fig. 34A, 34B, 34C, và 34D thể hiện sự ảnh hưởng của điều kiện nung lên năng suất PV của pin kích thước đầy đủ được chia thành các miếng nhỏ hơn. Đối với các Fig. 34A-34D áp dụng như sau: Năng suất PV ((a) mật độ dòng ngắn mạch, (b) điện thế mạch hở, (c) hệ số lấp đầy, và (d) hiệu suất) là hàm của tốc độ băng tải được sử dụng để nung pin trong lò nung băng tải IR công nghiệp. Nhiệt độ trong các vùng 1 đến 5 của lò nung không thay đổi. Nhiệt độ của vùng 6 được tăng từ 665 đến 690 °C. Hai phiên bản của bột nhão CuBert™, chứa 1,69 % khối lượng chất kết dính (Bột nhão 54) và 2,32 % khối lượng chất kết dính (Bột nhão 55) được in lên pin silic đa tinh thể kích thước đầy đủ. Pin được in bằng một bản in. Sau khi nung pin được cắt thành các phần 4×4 cm² để đo. Kết quả được thể hiện trên các Fig. Các Fig. 34A-34D minh họa kết quả trung bình từ 1/8 đến 1/4 của có kích thước đầy đủ. Thành phần của bột nhão được thể hiện trên bảng 25.

Bảng 25

Vật liệu/Bột nhão ID	Bột nhão 54	Bột nhão 55
Chất kết dính hữu cơ: PVP 40000	9,65 g (1,69 % khối lượng)	13,81 g (2,32 % khối lượng)
Dung môi hữu cơ: Propylen Glycol	44,97 g (7,88 % khối lượng)	50,90 g (8,54 % khối lượng)
Hạt nano A/B/C: Hạt nano Ni/Ni/Pb	3,09 g (0,54 % khối lượng)	3,18 g (0,53 % khối lượng)
Oxit thứ cấp: Sb ₂ O ₃	51,60 g (9,05 % khối lượng)	53,26 g (8,93 % khối lượng)
Bột Cu/D: Cu/Ni(?)P – bột đồng mịn (1,2 – 3,2 micron)	138,35 g (24,25 % khối lượng)	142,51 g (23,91 % khối lượng)
Bột Cu/D:	322,78 g	332,49 g

Cu/Ni(?)P – bột đồng hình cầu (7,5 – 14,7 micron)	(56,58 % khối lượng)	(55,77 % khối lượng)
Tỷ lệ của oxit thứ cấp và hạt nano	16,70	16,75
Tổng lượng thủy tinh frit	9,59 % khối lượng	9,46 % khối lượng
Tổng diện tích bề mặt của bột đồng trên mỗi gam bột nhão (m ² mỗi gam bột nhão)	0,41	0,41

Chiều rộng và khối lượng của bột nhão được sử dụng để in ngón tay có thể được giảm thêm bằng cách giảm kích thước của lỗ lưới. Để đạt được mục tiêu này, chỉ có các hạt chứa đồng có kích thước từ 1,20 đến 3,20 μm được sử dụng trong bột nhão. Fig. 35 thể hiện sự ảnh hưởng của bột nhão được làm bằng các hạt chứa đồng với diện tích bề mặt đóng góp là 0,51 m² mỗi gam bột nhão (Bột nhão 56 – xem bảng dưới đây). Bột nhão được sử dụng tỷ lệ oxit thứ cấp và hạt nano là 3,35 và nồng độ chất kết dính là 3,28 % khối lượng. Kết quả là, khối lượng của bột nhão được sử dụng để in ngón tay trên phần 1/16th (4×4 cm²) được giảm xuống là ~ 6 mg (khoảng 96 mg đối với pin kích thước đầy đủ). Bột nhão được in trên pin mặt trời silic đơn tinh thể bộ phát thụ động và tiếp điểm phía sau (Passivated Emitter Rear Contact PERC) được nung bằng cách sử dụng phiên bản cải biến của lò nung bán tự động được mô tả trong Ví dụ 16. Trong trường hợp này, ba lò nung dạng ống riêng biệt được kết hợp thành một hệ thống với ống thạch anh dài 122 cm duy nhất đi qua cả ba lò: vì thế, tạo ra lò ba vùng. Dòng không khí qua hệ thống được kiểm soát bằng các cửa thoát khí thải được bố trí ở hai đầu của ống thạch anh. Pin được bố trí trên khung lưới nichrome, mà được tự động hóa bằng cách sử dụng động cơ bước và chương trình phần mềm Arduino, để kiểm soát tốc độ của pin qua các vùng riêng biệt. Tốc độ của pin qua các vùng khác nhau được thay đổi để mô phỏng tốc độ bằng tải được sử dụng trong lò bằng tải TP Solar IR sáu vùng. Pin di chuyển liên tục qua các vùng khác nhau cho đến khi đến được cuối ống thạch anh, nơi có quạt bật để làm mát nhanh pin trở lại nhiệt độ phòng. Sau đó pin được lấy ra khỏi giai đoạn này. Fig. 35 thể hiện đường cong I-V của pin được nung bằng cách sử dụng nhiệt độ của vùng 1, 2 và 3 lần lượt là 255, 505 và 990°C. Trên Fig. 35, áp dụng như sau: Đường cong dòng điện – điện thế (IV) trong các điều kiện tối và được chiếu sáng đối với bột nhão (Bột nhão 56) được tạo ra bằng cách sử dụng bột

chứa đồng mịn 1,2 – 3,2 μm . Bột nhão được in trên pin silic đơn tinh thể PERC và được nung bằng lò bán tự động ba vùng. Nhiệt độ trong các vùng 1, 2 và 3 lần lượt là 255, 505 và 990°C. Pin được nung với tốc độ băng tải là 325 in/phút.

Việc giảm diện tích bề mặt đóng góp của hạt chứa đồng 46 nhỏ hơn có thể hạn chế tốc độ băng tải mà tại đó pin có thể được nung. Các Fig. 36A, 36C, và 36D thể hiện sự ảnh hưởng của điều kiện nung lên điện thế mạch hở của pin, V_{oc} của bột nhão được tạo ra bằng cách sử dụng diện tích bề mặt đóng góp là 0,51, 0,57, và 0,65 m^2 mỗi gam bột nhão. Bột nhão được sử dụng tỷ lệ oxit thứ cấp và hạt nano là 3,35 và nồng độ chất kết dính là 3,28 % khối lượng. Các thành phần của bột nhão được thể hiện trên bảng 26 (dưới đây). Tỷ lệ giữa hạt thứ cấp với hạt nano thấp hơn kết hợp với diện tích bề mặt thấp hơn, dẫn đến V_{oc} giảm đáng kể ở tốc độ chậm hơn.

Bảng 26

Vật liệu/Bột nhão ID	Bột nhão 56	Bột nhão 57	Bột nhão 58
Chất kết dính hữu cơ: PVP 8.000	7,05 g (3,28 % khối lượng)	7,05 g (3,29 % khối lượng)	7,05 g (3,29 % khối lượng)
Dung môi hữu cơ: Dipropylen Glycol	17,99 g (8,37 % khối lượng)	16,99 g (7,94 % khối lượng)	16,99 g (7,94 % khối lượng)
Hạt nano A/B/C: Hạt nano Ni/Ni/Pb (Hàm lượng Pb cao hơn)	5,55 g (2,58 % khối lượng)	5,55 g (2,59 % khối lượng)	5,55 g (2,59 % khối lượng)
Oxit thứ cấp: Sb_2O_3	18,59 g (8,65 % khối lượng)	18,59 g (8,69 % khối lượng)	18,59 g (8,69 % khối lượng)
Bột Cu/D: Cu/Ni(?)P – bột đồng mịn (1,2 – 3,2 micron)	165,79 g (77,12 % khối lượng)	165,79 g (77,48 % khối lượng)	165,79 g (77,48 % khối lượng)

Tỷ lệ của oxit thứ cấp và hạt nano	3,35	3,35	3,35
Tổng lượng thủy tinh frit	11,23 % khối lượng	11,28 % khối lượng	11,28 % khối lượng
Diện tích bề mặt của Cu/Ni(?)P – bột đồng mịn (1,2 – 3,2 micron)	0,66 m ² /g	0,73 m ² /g	0,88 m ² /g
Tổng diện tích bề mặt của bột đồng trên mỗi gam bột nhão (m ² mỗi gam bột nhão)	0,51	0,57	0,68

Sự thay đổi về thành phần bột nhão, diện tích bề mặt đóng góp và kết quả là lượng bột nhão cần để tạo ra thiết bị với hệ số lấp đầy > 0,6 được tóm tắt trong bảng 27.

Bảng 27

Vật liệu / Bột nhão ID	Số ngón tay được in và chiều rộng của mẫu lưới được sử dụng để in ngón tay	Số bản in	Khối lượng trung bình của bột nhão được sử dụng để in ngón tay trên pin (Các giá trị in nghiêng được tính toán)		Tỷ lệ của các bột chứa đồng có kích thước khác nhau được sử dụng bột nhão và diện tích bề mặt tương ứng của chúng (m ² /g)				Tổng diện tích bề mặt đóng góp của bột chứa đồng (m ² mỗi gam bột nhão)	Tỷ lệ của hạt oxit thứ cấp và hạt nano và tổng lượng thủy tinh frit trong bột nhão	Lượng chất kết dính trong bột nhão
			Pin kích thước đầy đủ ~15,8 × 15,8 cm ²	1/16 pin ~4 × 4 cm ²	10 – 22 μm Bột Cu hình cầu (Cu112 SP, Chemical Store)	7,5 – 14,7 μm Bột Cu hình cầu (610, ACuInternational)	1,8 – 7,7 μm Hình cầu (603, ACuInternational)	Mịn 1,2 – 3,2 μm Bột Cu, Ames Goldsmith)			
Bột nhão 5	74 200 μm	3	1024 mg	64 mg	70 0,25 m ² /g			30 2,31 m ² /g	0,75	3,50 6,49 % khối lượng	1,54 % khối lượng
Bột nhão 5	74 200 μm	2	901 mg	56 mg	70 0,25 m ² /g			30 2,31 m ² /g	0,75	3,50 6,49 %	1,54 % khối

										khối lượng	lượng
Bột nhã o 53	74 100 μm	3	360 mg	23 mg		70 0,33 m ² /g		30 1,59 m ² /g	0,58	16,9 1 9,67 % khối lượng	2,37 % khối lượng
Bột nhã o 62	74 100 μm	2	305 mg	19 mg			70 0,59 m ² /g	30 1,59 m ² /g	0,89	16,6 8 9,59 % khối lượng	2,36 % khối lượng
Bột nhã o 54	74 100 μm	1	233 mg	15 mg		70 0,24 m ² /g		30 1,15 m ² /g	0,41	16,7 0 9,59 % khối lượng	1,69 % khối lượng
Bột nhã o 55	74 100 μm	1	191 mg	12 mg		70 0,24 m ² /g		30 1,15 m ² /g	0,41	16,7 5 9,46 % khối lượng	2,32 % khối lượng
Bột nhã o 55	116 83 μm	1	224 mg	14 mg		70 0,22 m ² /g		30 1,16 m ² /g	0,40	16,7 5 9,46 % khối lượng	2,32 % khối lượng
Bột nhã o 58	116 83 μm	1	175 mg	11 mg		70 0,23 m ² /g		30 1,12 m ² /g	0,40	8,40 10,0 3 % khối lượng	2,68 % khối lượng
Bột nhã o 56	88 60 μm	1	94 mg	6 mg				100 0,66 m ² /g	0,51	3,35 11,2 3 % khối	3,28 % khối

										lượng	lượng
										ng	g

Ví dụ 21: Kiểm soát độ sâu khắc ăn mòn và sự ảnh hưởng của chất kết dính lên độ bền

Các Fig. 37A và 37B thể hiện sự ảnh hưởng của tỷ lệ của chất kết dính trong bột nhão lên độ bền của pin trong điều kiện lão hóa tăng tốc. Trên các Fig. 37A và 37B, áp dụng như sau: Sự ảnh hưởng của thử nghiệm lão hóa được tăng tốc ở 200 °C lên năng suất PV ((a) điện thế mạch hở, (b) hệ số giả lấp đầy) của pin Si đa tinh thể với tiếp điểm phía sau Al BSF hoàn toàn, được mạ kim loại bằng bột nhão CuBert™. Hai phiên bản của bột nhão CuBert™, chứa 1,69 % khối lượng chất kết dính (Bột nhão 54) và 2,32 % khối lượng chất kết dính (Bột nhão 55) được in trên pin poly c-Si 6 inx. Các kết quả thể hiện kết quả trung bình đối với các phần kích thước 4×4 cm² được cắt từ pin kích thước đầy đủ được nung trong lò băng tải IR sử dụng nhiệt độ vùng 6 là 665 °C và tốc độ băng tải (B.S.) là 300 in/phút. Biểu đồ cũng cho thấy kết quả của mẫu được nung bằng cách sử dụng nhiệt độ vùng 6 là 690 °C và tốc độ băng tải (B.S.) là 325 in/phút. Pin đa tinh thể được in bằng cách sử dụng bột nhão chứa 1,69 và 2,36 % khối lượng chất kết dính. Các thành phần của bột nhão được cung cấp trong bảng 25. Pin được nung bằng cách sử dụng lò nung băng tải TP Solar IR sáu vùng được mô tả trong Ví dụ 20. Lò đã sử dụng nhiệt độ vùng 1, 2, 3, 4 và 5 lần lượt là 620, 460, 440, 450, và 520 °C. Nhiệt độ vùng 6 được thay đổi từ 665 đến 690 °C. Tốc độ băng tải được thay đổi. Pin kích thước đầy đủ được cắt thành các miếng 4×4 cm² nhỏ hơn, để đánh giá năng suất PV của chúng. Thử nghiệm lão hóa tăng tốc được thực hiện bằng cách gia nhiệt pin ở 200 °C dưới môi trường khí trơ trong thời gian 1000 giờ. Pin được lấy ra định kỳ trong thời gian thử nghiệm để đo năng suất PV của chúng. Năng suất được xác định bằng cách theo dõi điện thế mạch hở, V_{oc} và hệ số giả lấp đầy, pFF được đo bằng cách sử dụng hệ thống Suns-V_{oc} của Sinton Instruments (Fig. 37). V_{oc} và pFF nhạy với sự khuếch tán của đồng vào mối nối và dự kiến sẽ giảm theo thời gian nếu nó xảy ra. Kết quả cho thấy rằng việc tăng tỷ lệ chất kết dính trong bột nhão sẽ làm giảm độ sâu của bột nhão khắc ăn mòn vào pin; do đó làm tăng độ bền của pin.

Ví dụ 22: Sự ảnh hưởng của thành phần của hạt nano

Hạt nano và hạt oxit thứ cấp cung cấp chức năng khắc ăn mòn của bột nhão. Tốc độ khắc ăn mòn có thể được thay đổi bằng cách thay đổi tỷ lệ của hai nguyên liệu trong bột nhão. Nó cũng có thể được thay đổi bằng cách thay đổi thành phần của hạt nano. Tính ăn

mòn của các hạt nano có thể được kiểm soát bằng cách thay đổi tỷ lệ của các nguyên tố khác nhau trong quá trình tổng hợp các hạt nano, như đã mô tả ở trên. Trong ví dụ này tỷ lệ mol của niken (Ni) và chì (Pb) trong hạt nano Ni/Ni/Pb được giảm từ 1,52 đến 0,52, trong quá trình tổng hợp. Bột nhão được làm bằng cách sử dụng hai thành phần hạt nano và được in trên pin PERC silic đơn tinh thể. Pin được nung trong hệ thống nung bán tự động ba vùng được mô tả trong Ví dụ 20. Nhiệt độ trong các vùng 1, 2 và 3 lần lượt là 650, 450 và 925 °C. Các Fig. 38A, và 38B thể hiện sự ảnh hưởng của hạt nano lên năng suất PV. Trên các Fig. 38A và 38B, áp dụng như sau: Hiệu suất của pin mặt trời PERC silic đơn tinh thể được in bằng bột nhão được làm bằng cách sử dụng hạt nano Ni/Ni/Pb tiêu chuẩn với tỷ lệ Ni/Pb là 1,52 (các bột nhão 55 và 57) và với tỷ lệ là 0,52 (các bột nhão 56 và 58). Các đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng của việc tăng gấp đôi tỷ lệ của hạt nano và lượng chất kết dính lên năng suất PV. Thành phần của bột nhão được thể hiện trên bảng 28.

Bảng 28

Vật liệu/Bột nhão ID	Bột nhão 55	Bột nhão 56	Bột nhão 57	Bột nhão 58
Chất kết dính hữu cơ: PVP 40000	(2,31 % khối lượng)	(2,35 % khối lượng)	(2,67 % khối lượng)	(2,68 % khối lượng)
Dung môi hữu cơ: Propylen Glycol	(9,18 % khối lượng)	(7,53 % khối lượng)	(7,81 % khối lượng)	(7,34 % khối lượng)
Hạt nano A/B/C: Hạt nano Ni/Ni/Pb	(0,53 % khối lượng)		(1,06 % khối lượng)	(1,06 % khối lượng)
Hạt nano A/B/C: Hạt nano Ni/Ni/Pb (hàm lượng Pb cao hơn)		(0,53 % khối lượng)		
Oxit thứ cấp: Sb ₂ O ₃	(8,87 % khối lượng)	(9,03 % khối lượng)	(8,92 % khối lượng)	(8,96 % khối lượng)
Bột Cu/D: Cu/Ni(?)P – bột đồng mịn (1,2 – 3,2 micron)	(23,74 % khối lượng)	(24,17 % khối lượng)	(23,86 % khối lượng)	(23,98 % khối lượng)
Bột Cu/D: Cu/Ni(?)P – bột đồng hình cầu (7,5 – 14,7 micron)	(55,39 % khối lượng)	(55,77 % khối lượng)	(55,69 % khối lượng)	(55,97 % khối lượng)

Tỷ lệ của oxit thứ cấp và hạt nano	16,89	16,89	8,45	8,45
Tổng lượng thủy tinh frit	9,40 % khối lượng	9,56 % khối lượng	9,98 % khối lượng	10,02 % khối lượng
Tổng diện tích bề mặt của bột đồng trên mỗi gam bột nhão (m ² mỗi gam bột nhão)	0,40	0,41	0,41	0,41

Ví dụ 23: Sự ảnh hưởng của kích thước các hạt chứa đồng lên điều kiện nung

Việc giảm kích thước ngón tay, không chỉ yêu cầu thay đổi thành phần bột nhão mà còn phải thay đổi điều kiện nung. Kích thước của các hạt chứa đồng càng nhỏ thì các hạt này càng dễ bị oxy hóa. Việc tăng tỷ lệ chất kết dính trong bột nhão, cũng như lượng chất ăn mòn trong bột nhão hỗ trợ việc khử oxit bất kỳ, cũng như những chất được tạo thành trong quá trình nung. Tuy nhiên, cả hai thành phần chỉ có thể được tăng lên đến một mức nhất định trước khi chúng ảnh hưởng đến hiệu suất của thiết bị. Vì thế, việc thay đổi điều kiện nung được yêu cầu. Pin được nung bằng cách sử dụng hệ thống nung bán tự động ba vùng được mô tả trong Ví dụ 20. Trong hai vùng đầu tiên, hầu hết chất kết dính bị cháy hết, nhưng với kích thước ngón tay nhỏ hơn, tỷ lệ chất kết dính hiện diện đã nhỏ hơn. Do đó, nhiệt độ trong khu vực đầu tiên đã giảm xuống, để giải thích cho tác động này. Các Fig. 39A, 39B và 39C cho thấy tác động lên điện trở bên của ngón tay khi nhiệt độ ở vùng 1 giảm và lượng chất kết dính trong bột nhão được tăng lên. Bảng 29 thể hiện thành phần của bột nhão. Pin được in bằng khoảng 3,5 mg bột nhão trên pin silic đơn tinh thể PERC kích thước 4x4 cm². Trên các Fig. 39A, 39B và 39C, áp dụng các điều kiện sau: tác động của điều kiện nung lên điện trở trên 22 ngón tay có chiều dài 3,2 mm được in bằng bột nhão chứa (a) 2,05 (Bột nhão 59), (b) 2,35 (Bột nhão 60), (c) 2,64 (Bột nhão 61) % khối lượng chất kết dính. Các ngón tay được in bằng khoảng 3,5 mg bột nhão trên pin PERC silic đơn tinh thể kích thước 4x4 cm².

Bảng 29

Vật liệu/Bột nhão ID	Bột nhão 59	Bột nhão 60	Bột nhão 61
Chất kết dính hữu cơ: PVP 40000	4,52 g	5,20 g	5,88 g
	(2,04 % khối lượng)	(2,35 % khối lượng)	(2,64 % khối lượng)

Dung môi hữu cơ:	20,80 g	20,80 g	21,11 g
Propylen Glycol	(9,42 % khối lượng)	(9,39 % khối lượng)	(9,49 % khối lượng)
Hạt nano A/B/C:	11,10 g	11,10 g	11,10 g
Hạt nano Ni/Ni/Pb (Hàm lượng Pb cao hơn)	(5,03 % khối lượng)	(5,01 % khối lượng)	(4,99 % khối lượng)
Oxit thứ cấp: Sb ₂ O ₃	18,59 g (8,42 % khối lượng)	18,59 g (8,39 % khối lượng)	18,59 g (8,36 % khối lượng)
Bột Cu/D:	165,79 g	165,79 g	165,79 g
Cu/Ni(?)P – bột đồng mịn (1,2 – 3,2 micron)	(75,09 % khối lượng)	(74,86 % khối lượng)	(74,52 % khối lượng)
Tỷ lệ của oxit thứ cấp và hạt nano	1,67	1,67	1,67
Tổng lượng thủy tinh frit	13,45 % khối lượng	13,40 % khối lượng	13,35 % khối lượng
Diện tích bề mặt của Cu/Ni(?)P – bột đồng mịn (1,2 – 3,2 micron)	0,78 m ² /g	0,78 m ² /g	0,78 m ² /g
Tổng diện tích bề mặt của bột đồng trên mỗi gam bột nhão (m ² mỗi gam bột nhão)	0,58	0,58	0,58

Ví dụ 24: Việc tăng tuổi thọ che chắn của bột nhão đối với các kích thước ngón tay nhỏ hơn

Việc giảm kích thước của các hạt trong bột nhão có thể dẫn đến tuổi thọ che chắn của bột nhão giảm, do diện tích bề mặt tăng làm tăng tốc độ khô của bột nhão. Tuổi thọ che chắn có thể được kéo dài bằng cách thay thế trực tiếp dung môi được sử dụng trong môi trường bằng dung môi có tốc độ bay hơi thấp hơn. Bảng 30 thể hiện các tính chất vật lý của các dung môi được thử nghiệm trong bột nhão.

Bảng 30

Tên dung môi	Điểm sôi (°C)	Độ nhớt (cP)	Tốc độ bay hơi (n-Butyl Axetat = 1)
--------------	---------------	--------------	--

Propylen Glycol	187,4	48,6	0,0157
Dipropylen Glycol	232,2	75,0	0,00155
Tripropylen Glycol	265,1	57,2	0,000214
Butyl Carbitol (Dietylen Glycol Monbutyl Ete)	230	4,9	0,004
Rượu của Texanol Este (2,2,4-Trimetyl 1,3-pentandiol monoisobuyrat)	255 – 260,5	13,5	0,002

Ví dụ 25: Kích thước ngón tay

Bảng 31 thể hiện kích thước trung bình của bột nhão có độ nhớt cao (Bột nhão 53) được in qua lưới 300 mắt lưới với lớp phủ nhũ tương lên lưới 20 μm (EOM) và khoảng hở ngón tay rộng 100 μm . Pin được nung bằng cách sử dụng lò nung băng tải IR TP Solar sáu vùng với nhiệt độ các vùng 1, 2, 3, 4, 5 và 6 lần lượt là 620, 460, 440, 450, 520 và 840 °C. Chiều rộng và chiều cao trung bình của các ngón tay đối với ngón tay chưa nung và đã nung được đo từ hình ảnh mặt cắt tương ứng bằng kính hiển vi quang học và kính hiển vi điện tử quét. Fig. 40 thể hiện hình ảnh mặt cắt của ngón tay được nung. Việc giảm kích thước là do sự dày đặc của cấu trúc bên trong. Hình ảnh SEM mặt cắt ngang của ngón tay (được in bằng bột nhão 53) được nung bằng cách sử dụng lò vành đai IR sáu vùng năng lượng mặt trời TP được thể hiện trong trên Fig. 40.

Bảng 31

Bột nhão ID	Số bản in	Số ngón tay (mg)	Khối lượng trung bình của bột nhão được sử dụng để ngón tay trên pin 1/16 pin ~4×4 cm ² (mg)	Lỗ mở trên lưới đối với ngón tay (μm)	Chiều rộng trung bình của ngón tay không nung (μm)	Chiều cao trung bình của ngón tay không nung (μm)	Chiều rộng trung bình của ngón tay được nung (μm)	Chiều cao trung bình của ngón tay được nung (μm)
Bột nhão 53	3	18	23	100	115	82	91,8	55,4

Chiều rộng được in (xem ví dụ W₂ trên Fig. 4) có thể giảm thêm bằng cách điều chỉnh lưới. Giảm khe hở của ngón tay và tăng số lượng mắt lưới lên một số cao hơn dẫn đến các lỗ nhỏ hơn, do đó giảm lượng bột nhão đi qua lưới. Thường sử dụng lỗ lưới nhỏ

hơn chiều rộng ngón tay mục tiêu. Nói cách khác, chiều rộng được in thường rộng hơn kích thước lỗ lưới tương ứng. Giảm đường kính của các dây trong mắt lưới, cũng như EOM làm giảm độ dày của lớp lắng phủ. Các thay đổi này cùng với những thay đổi đối với tốc độ in là những thay đổi phổ biến được thực hiện để đạt được mục tiêu. Bảng 32 và Fig. 41A và 41B minh họa sự ảnh hưởng của thông số lưới của chiều rộng được in của bột nhão có độ nhớt thấp hơn đáng kể. Trên các Fig. 41A và 41B, hình ảnh hiển vi quang học của bột nhão (Bột nhão 63) được thể hiện sau khi in qua lưới 360 mắt lưới với khoảng hở ngón tay rộng 60 μm (xem Fig. 41A) và lưới 400 mắt lưới với khoảng hở ngón tay rộng 35 μm (xem Fig. 41B).

Bảng 32

Vật liệu/Bột nhão ID	Bột nhão 63
Chất kết dính hữu cơ: PVP 8.000	8,36 g (3,86 % khối lượng)
Dung môi hữu cơ: Dipropylen Glycol	17,99 g (8,32 % khối lượng)
Hạt nano A/B/C: Hạt nano Ni/Ni/Pb (Hàm lượng Pb cao hơn)	5,55 g (2,57 % khối lượng)
Oxit thứ cấp: Sb_2O_3	18,59 g (8,60 % khối lượng)
Bột Cu/D: Cu/Ni(?)P – bột đồng mịn (1,2 – 3,2 micron)	165,79 g (76,66 % khối lượng)
Tỷ lệ của oxit thứ cấp và hạt nano	3,35
Tổng lượng thủy tinh frit	11,17 % khối lượng
Diện tích bề mặt của Cu/Ni(?)P – bột đồng mịn (1,2 – 3,2 micron)	0,67 m^2/g
Tổng diện tích bề mặt của bột đồng trên mỗi gam bột nhão (m^2 mỗi gam bột nhão)	0,51

Mặc dù sáng chế được minh họa bằng cách mô tả các phương án khác nhau và mặc dù các phương án này đã được mô tả chi tiết ở mức độ nào đó, nhưng các tác giả sáng chế không có ý định hạn chế hoặc theo cách bất kỳ để giới hạn phạm vi của các yêu cầu bảo hộ kèm ở chi tiết như vậy. Do đó, những lợi thế và cải biến bổ sung sẽ dễ dàng xuất hiện đối với người có kiến thức trung bình trong lĩnh vực này. Các dấu hiệu khác của sáng chế có thể được sử dụng đơn độc hoặc kết hợp phụ thuộc vào nhu cầu và sự ưu tiên của người sử dụng.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Bột nhão để sử dụng trong mạ kim loại pin mặt trời, bột nhão này bao gồm:

chất mang hữu cơ bao gồm polyvinylpyrrolidon, và

hỗn hợp của các hạt chứa đồng, các hạt nano chứa oxit kim loại, và các hạt oxit thứ cấp khác với các hạt nano chứa oxit kim loại trong chất mang hữu cơ,

trong đó các hạt oxit thứ cấp bao gồm các hạt oxit kim loại, và kim loại của oxit kim loại có khả năng khử ít nhất một vài trong số các hạt nano chứa oxit kim loại thành kim loại khi bột nhão được gia nhiệt đến nhiệt độ mà tại đó chất mang hữu cơ phân hủy,

trong đó mỗi một trong số các hạt nano là các hạt rời rạc khi cả ba kích thước đều bằng hoặc nhỏ hơn 100 nm.

2. Bột nhão theo điểm 1, trong đó chất mang hữu cơ có khả năng khử oxit kim loại của các hạt oxit thứ cấp khi phân hủy chất mang hữu cơ.

3. Bột nhão theo điểm 1, trong đó các hạt oxit thứ cấp bao gồm hạt thủy tinh frit.

4. Bột nhão theo điểm 1, trong đó các hạt chứa đồng bao gồm hạt đồng kim loại và/hoặc hạt hợp kim đồng.

5. Bột nhão theo điểm 4, trong đó các hạt chứa đồng có ít nhất một kim loại là niken, coban, hoặc mangan trên bề mặt của chúng.

6. Bột nhão theo điểm 5, trong đó ít nhất một kim loại là niken, coban, hoặc mangan là ở dạng hạt oxit kim loại.

7. Bột nhão theo điểm 5, trong đó hạt đồng kim loại, hạt hợp kim đồng, và/hoặc ít nhất một kim loại được pha tạp với ít nhất là phospho.

8. Bột nhão theo điểm 5, trong đó bề mặt của hạt đồng kim loại hoặc bề mặt của hạt hợp kim đồng không hoàn toàn được bao phủ bởi ít nhất một kim loại.

9. Bột nhão theo điểm 1, trong đó các hạt nano chứa oxit kim loại bao gồm ít nhất một oxit của niken, đồng, coban, mangan, hoặc chì.

10. Bột nhão theo điểm 1, trong đó các hạt nano chứa oxit kim loại bao gồm các oxit của niken và chì.

11. Bột nhão theo điểm 10, trong đó oxit kim loại của các hạt oxit thứ cấp bao gồm oxit antimon.

12. Bột nhão theo điểm 1, trong đó các hạt nano chứa oxit kim loại bao gồm các oxit của niken, đồng, và chì.

13. Bột nhão theo điểm 1, trong đó chất mang hữu cơ là chất gắn kết hữu cơ và dung môi hữu cơ và trong đó dung môi hữu cơ là propylen glycol.

14. Bột nhão theo điểm 1, trong đó ít nhất một kim loại ở dạng hạt kim loại trên bề mặt của các hạt chứa đồng, và các hạt chứa đồng với các hạt kim loại có diện tích bề mặt trong khoảng từ $0,7 \text{ m}^2/\text{g}$ đến $5 \text{ m}^2/\text{g}$.

15. Phương pháp chế tạo pin mặt trời bao gồm các bước:

đặt bột nhão theo điểm 9 lên bề mặt của nền; và

gia nhiệt bột nhão này đến nhiệt độ mà tại đó chất mang hữu cơ phân hủy và khử ít nhất một vài trong số các oxit kim loại thành kim loại.

16. Pin mặt trời được chế tạo từ phương pháp theo điểm 15.

1/95

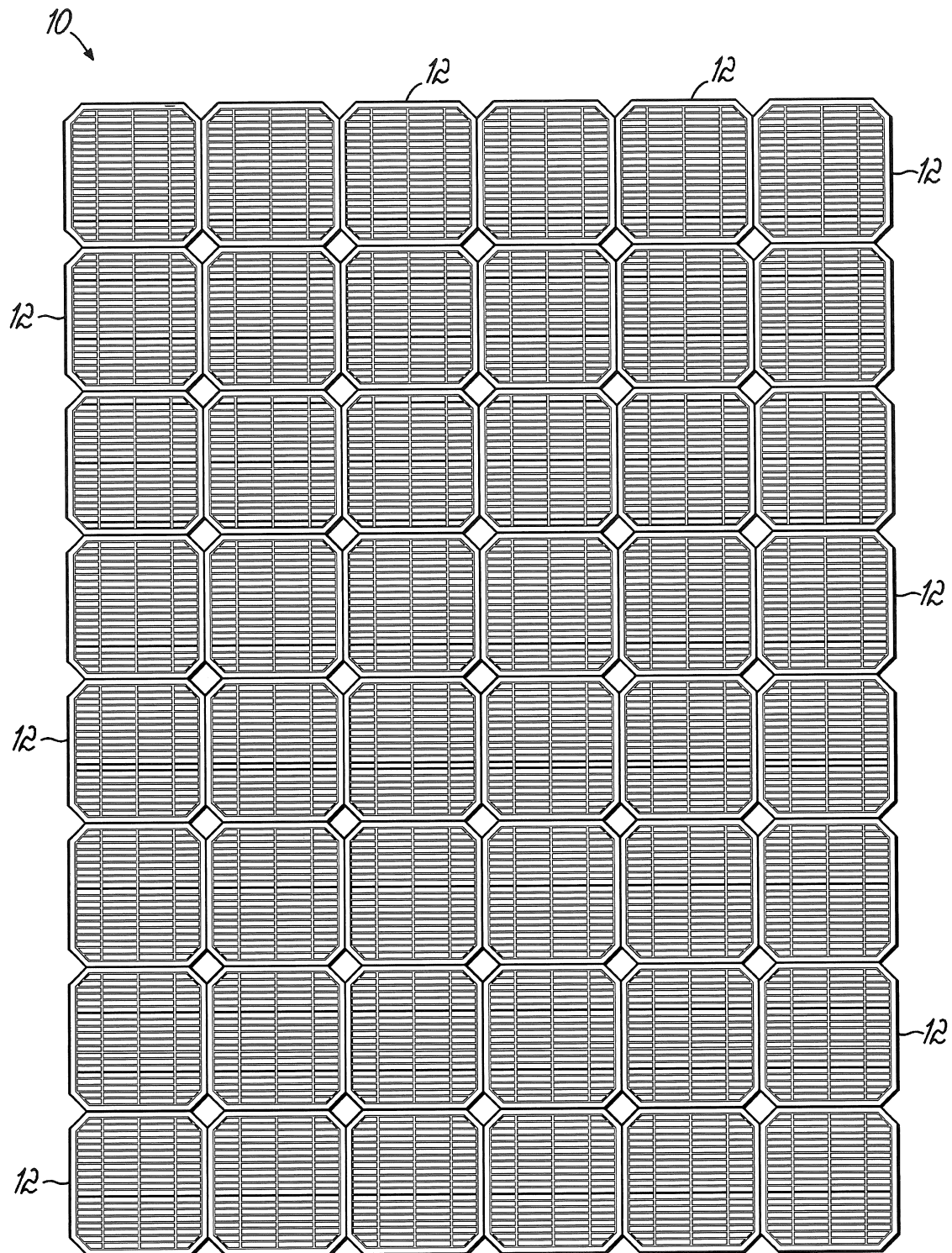


FIG. 1

2/95

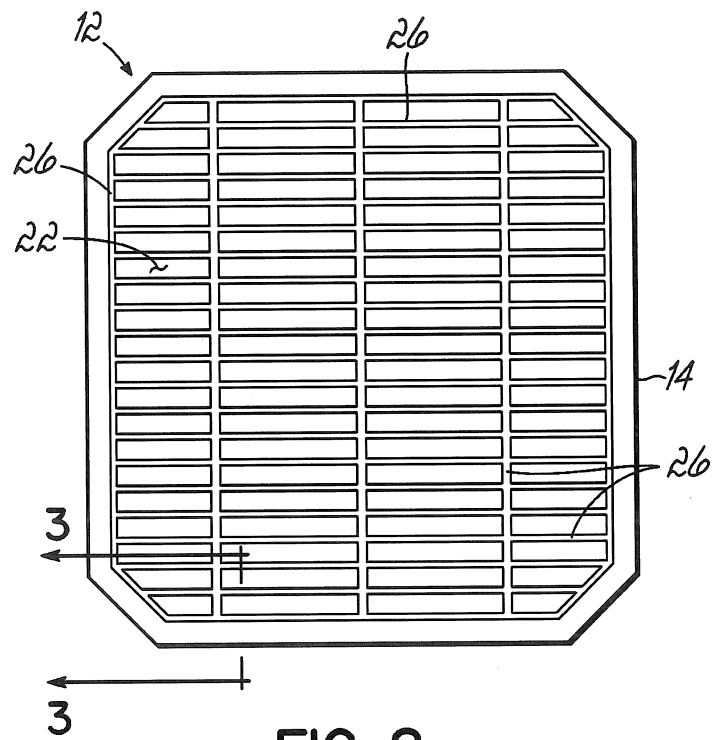


FIG. 2

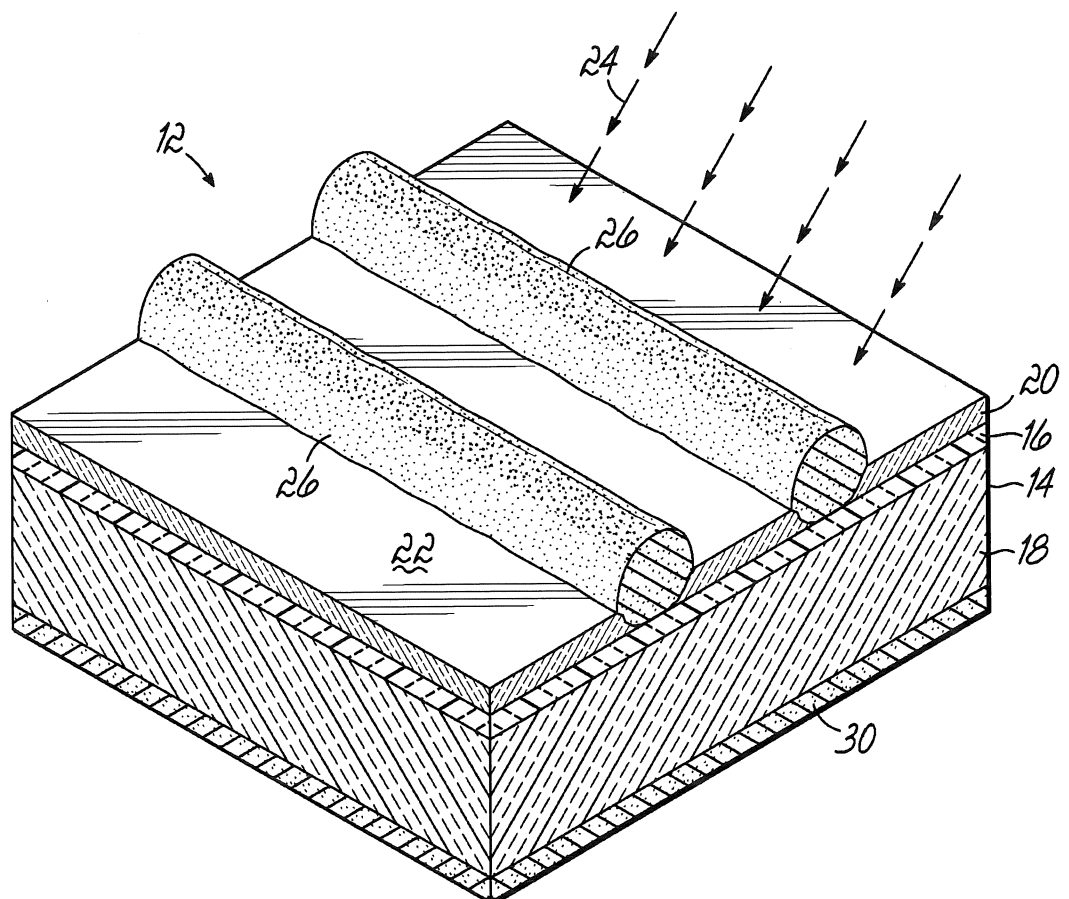


FIG. 3

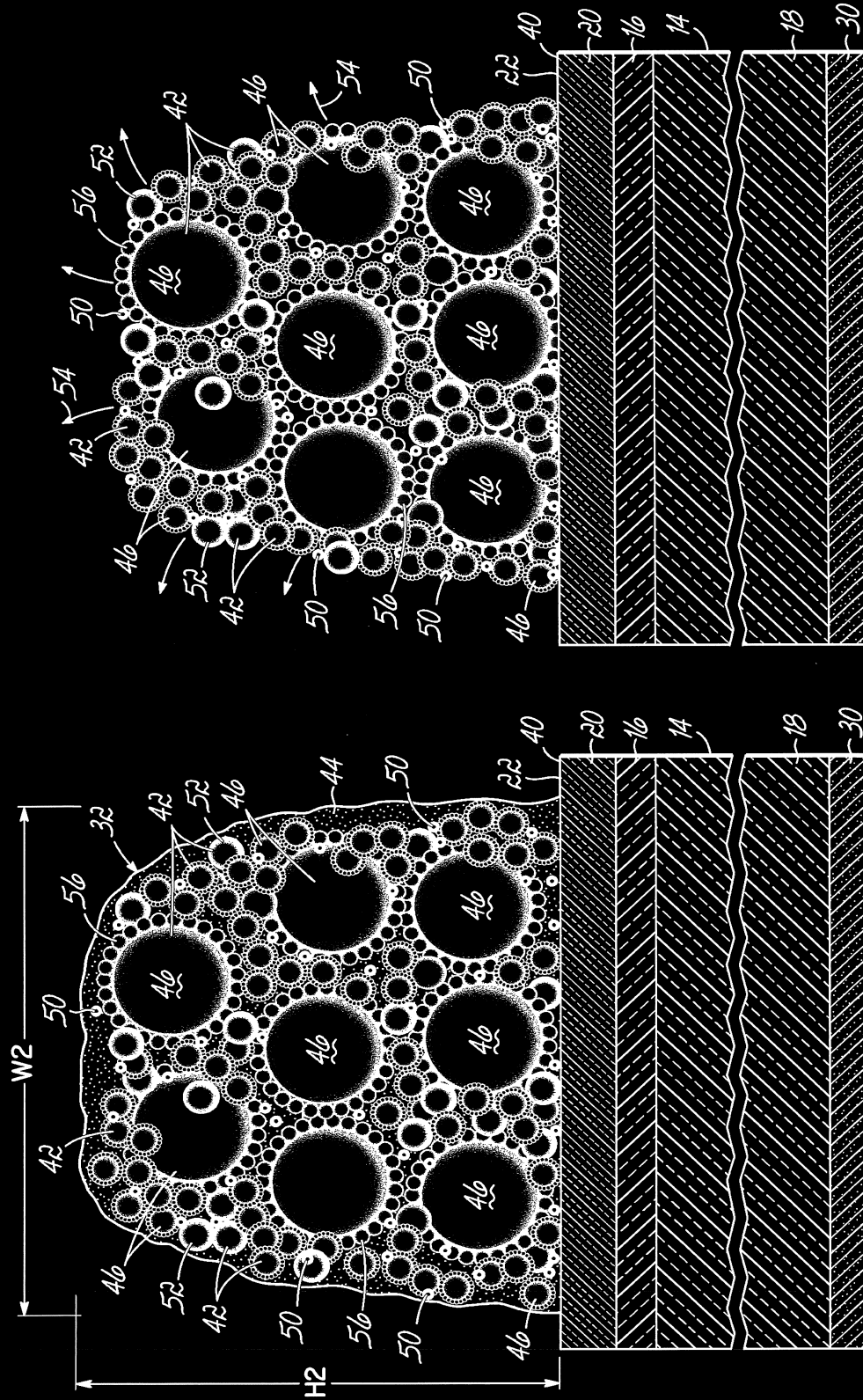


FIG. 5

FIG. 4

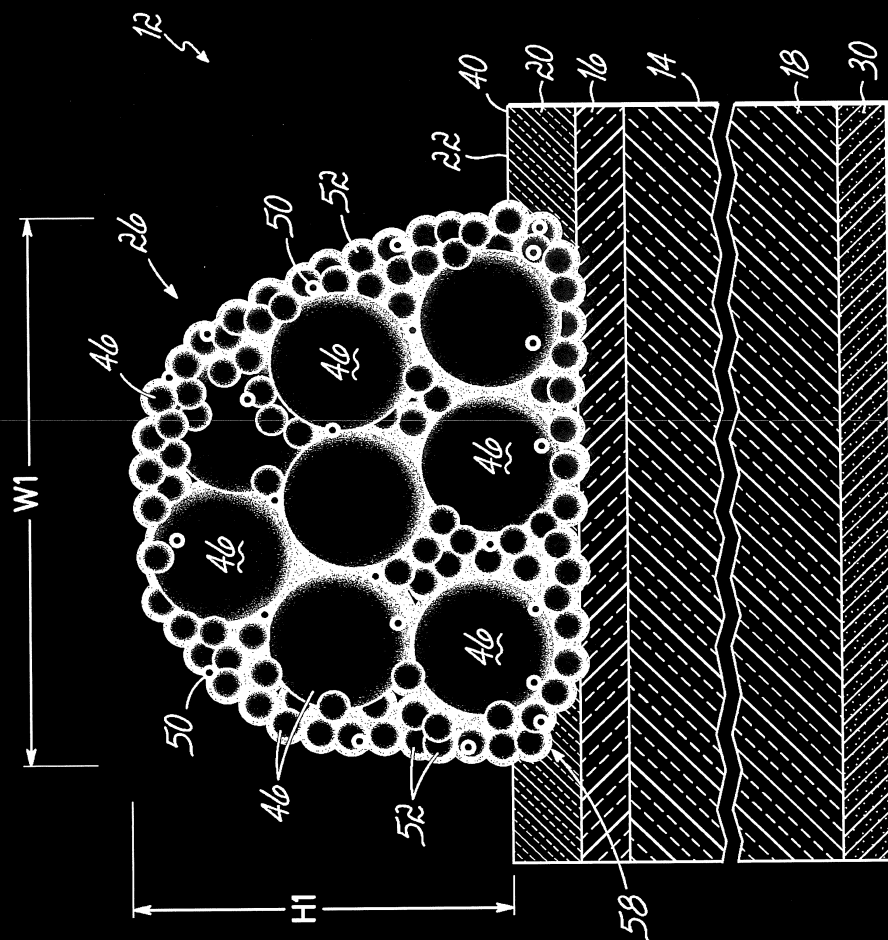


FIG. 6

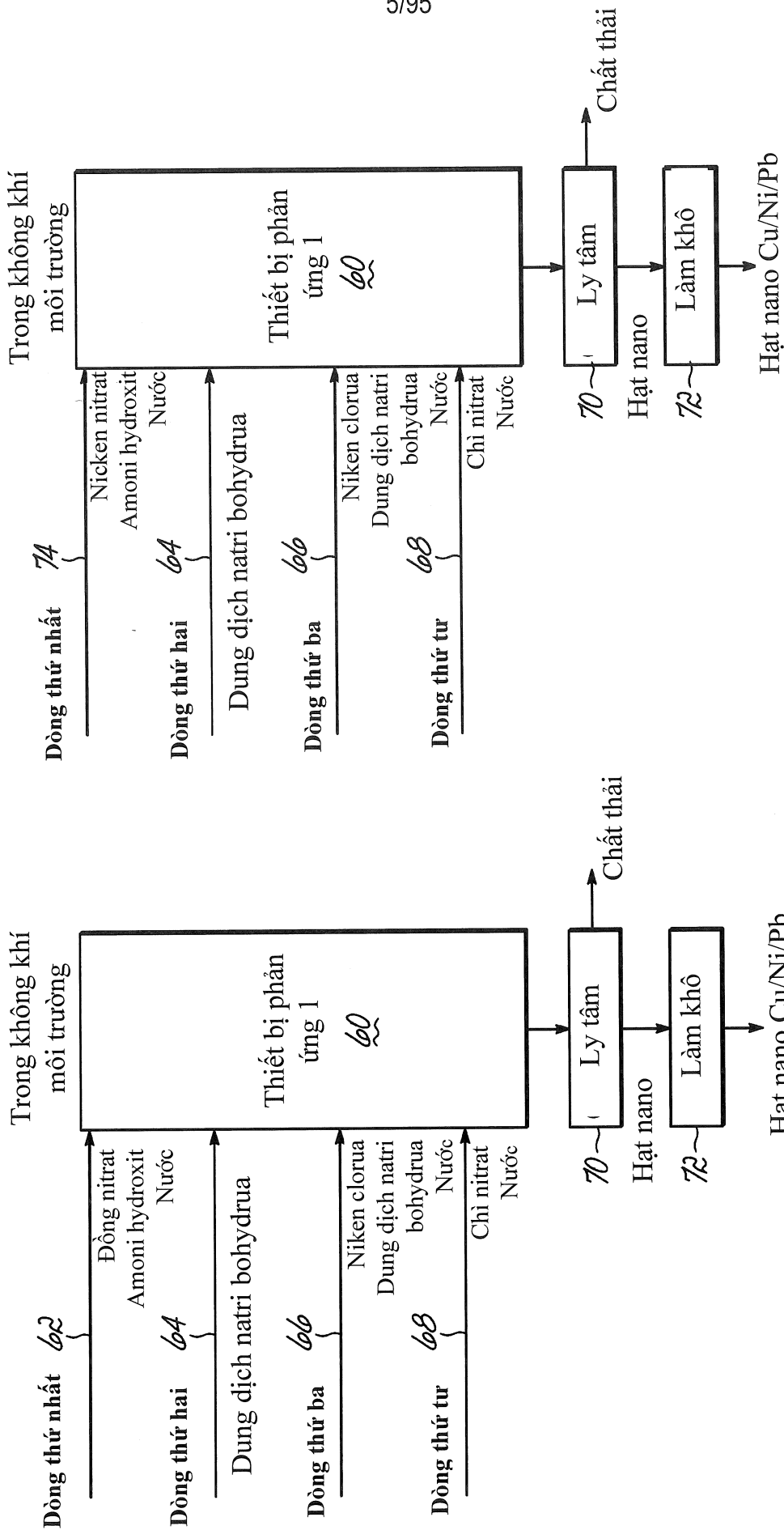


FIG. 7B

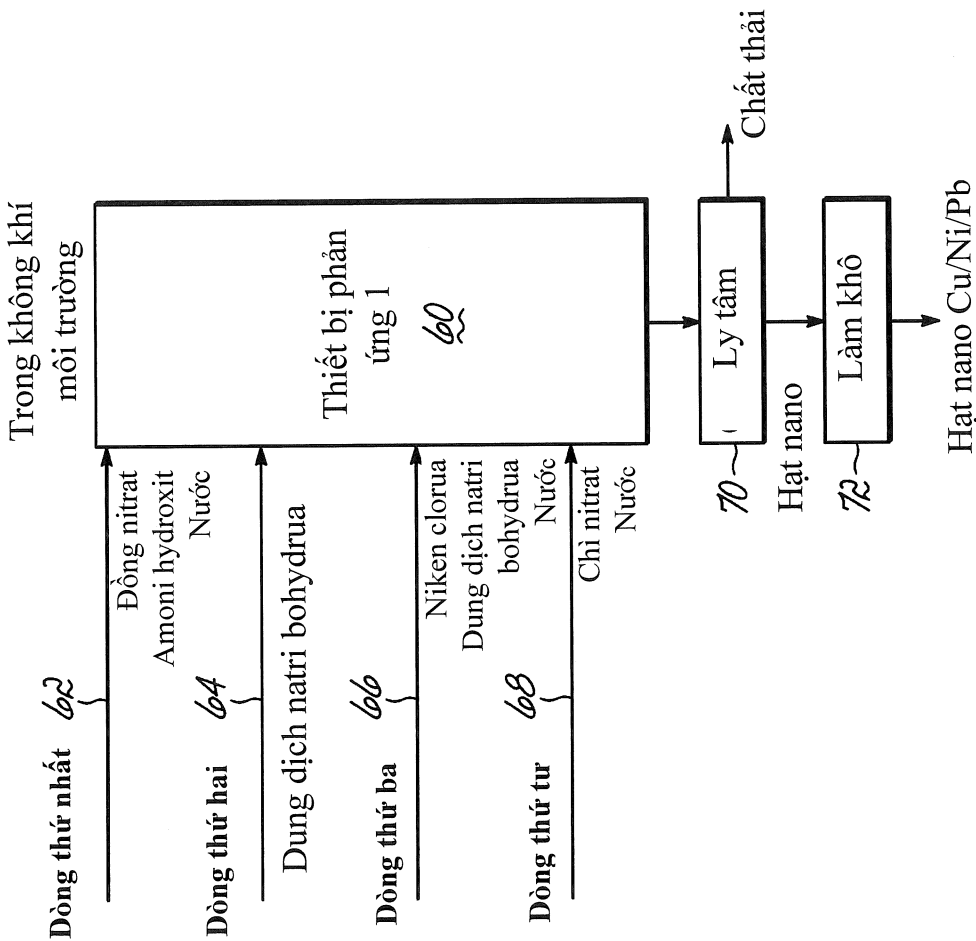


FIG. 7A



6/95

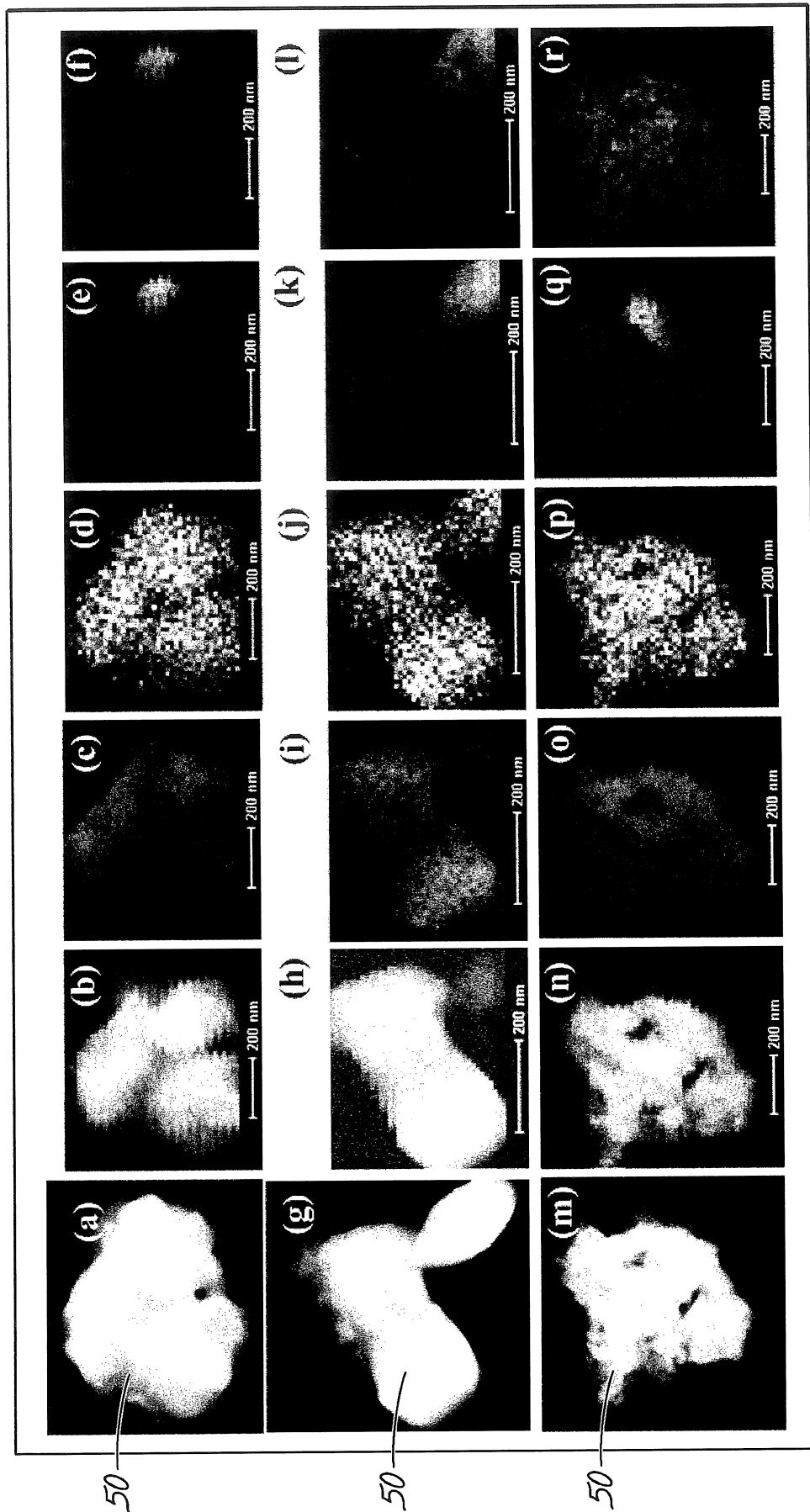


FIG. 8

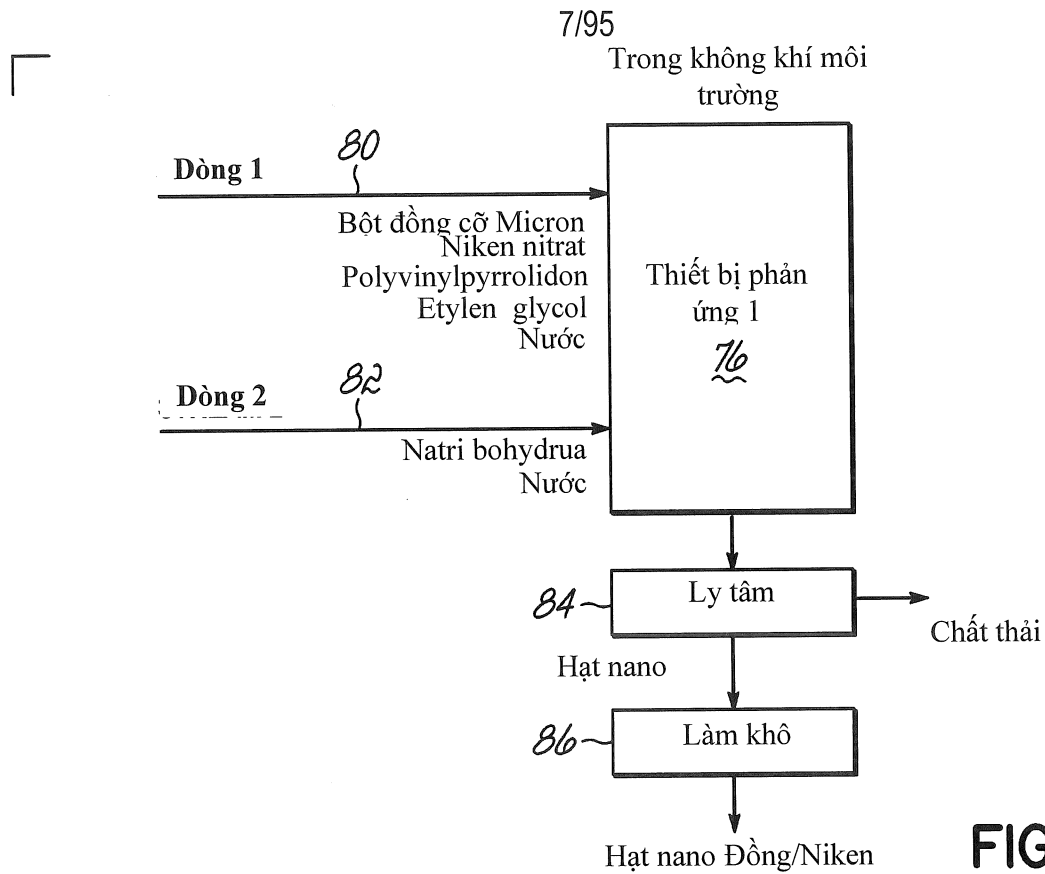


FIG. 9A

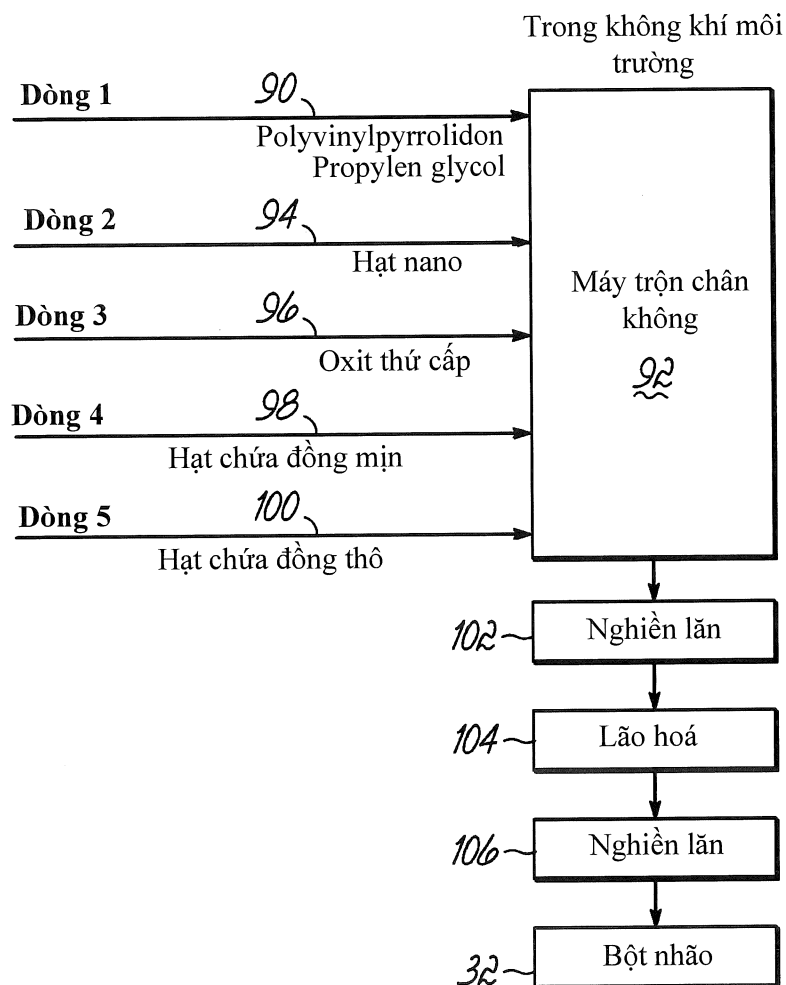


FIG. 9B

8/95

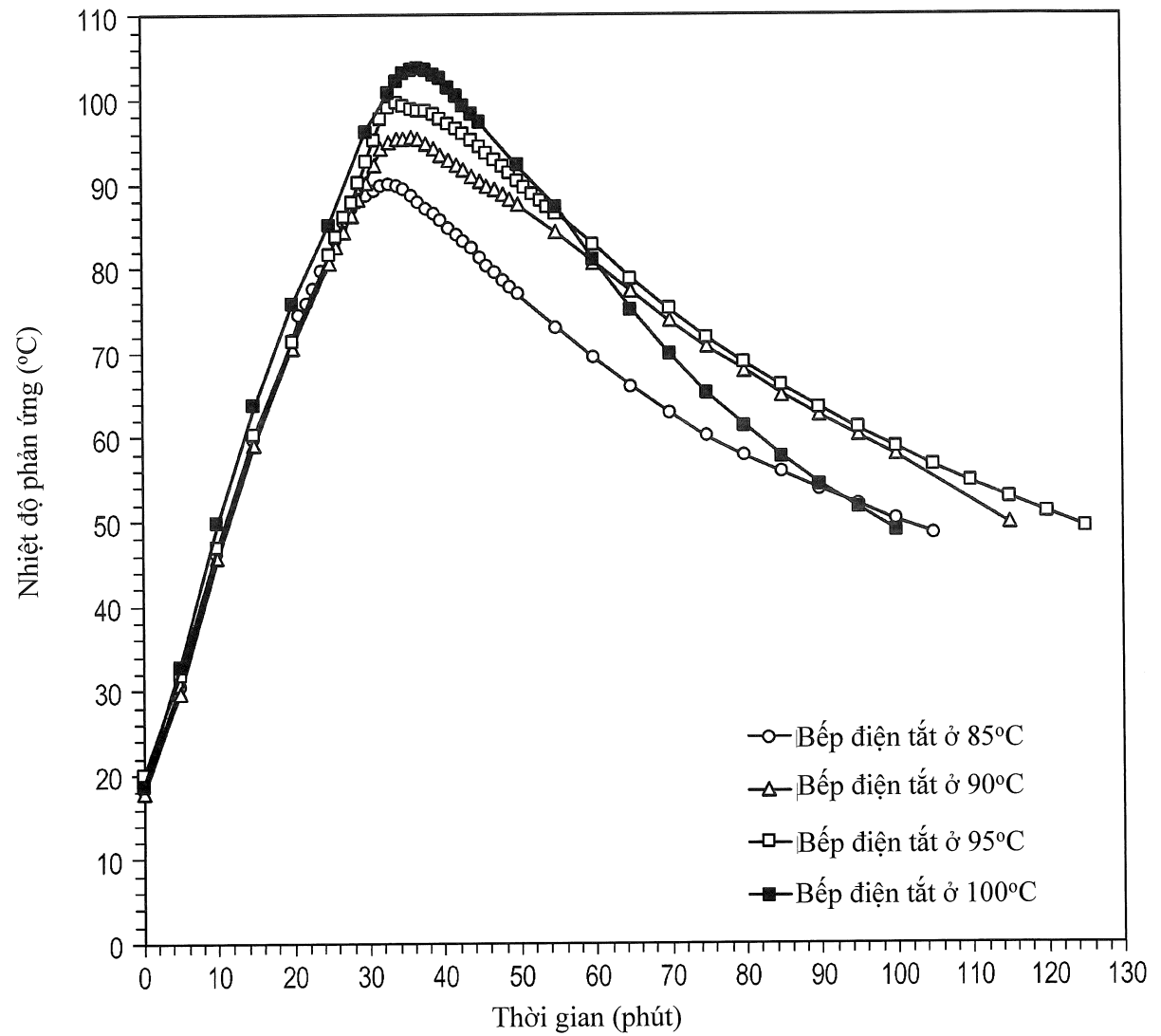


FIG. 10

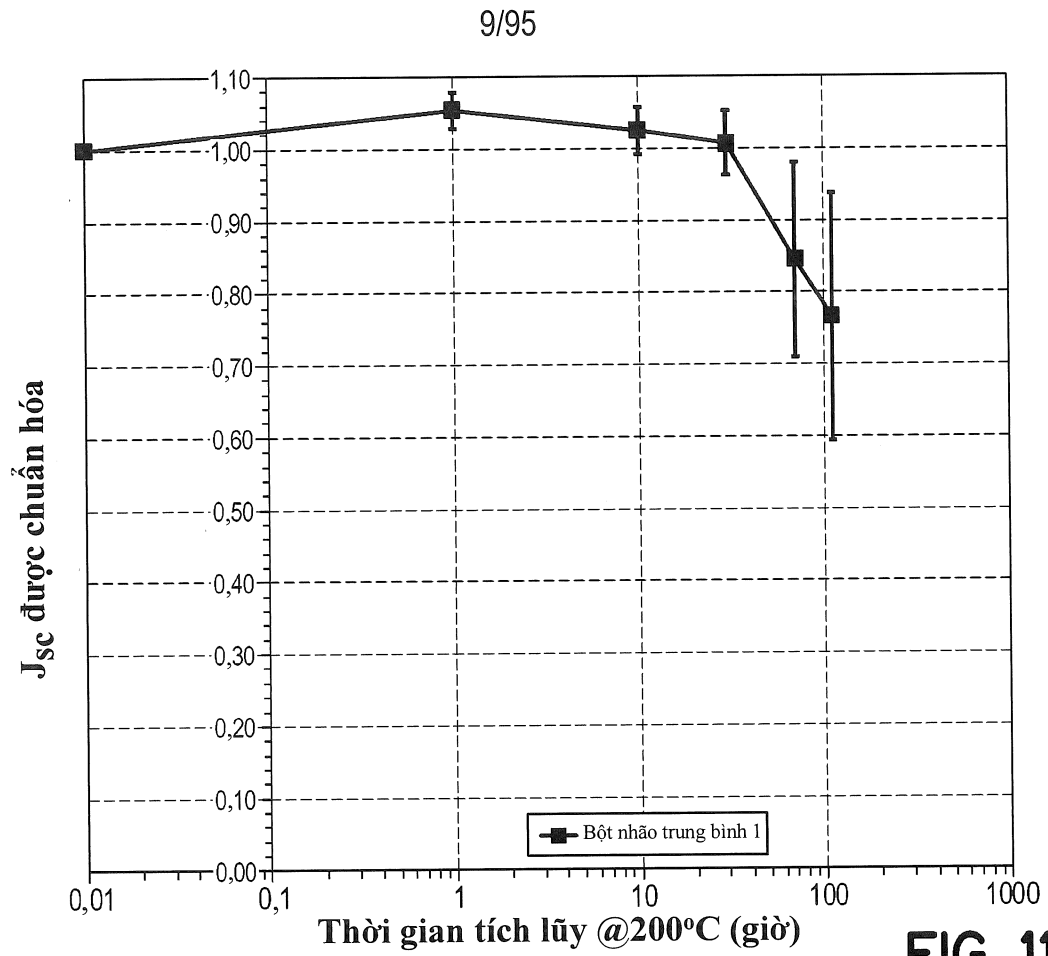


FIG. 11A

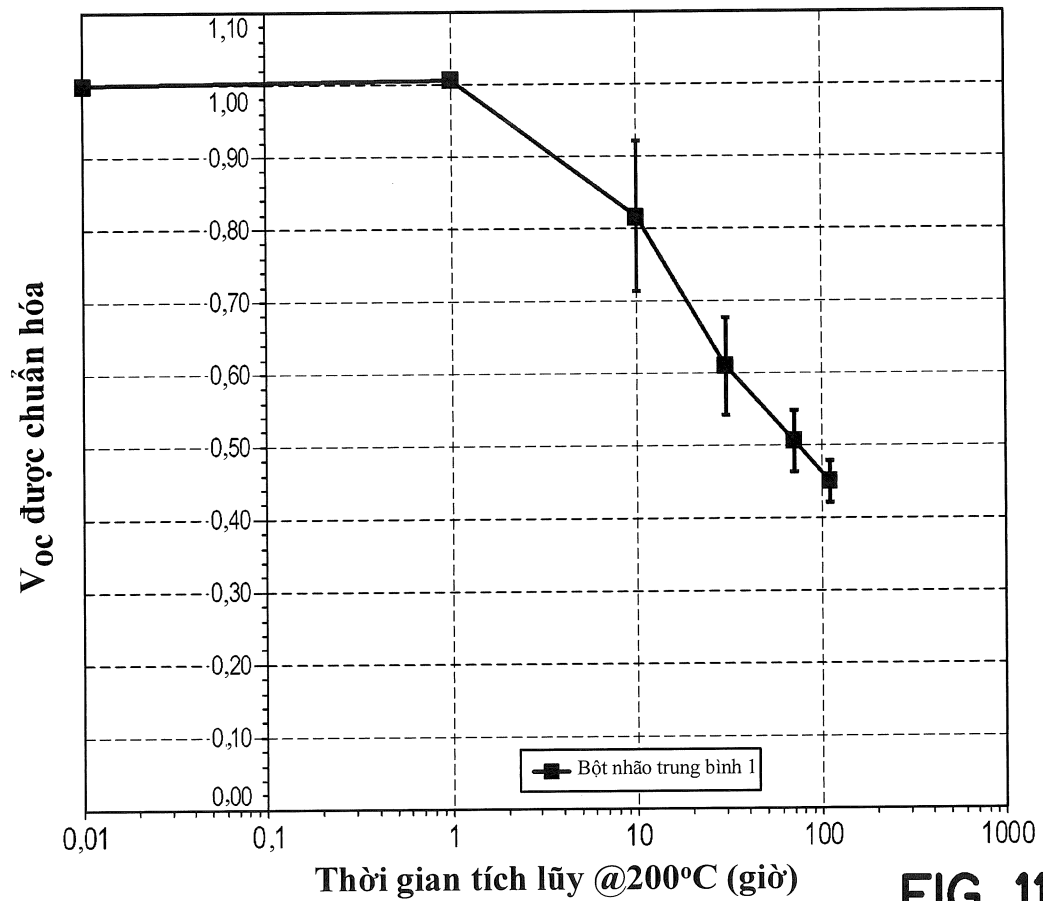


FIG. 11B

10/95

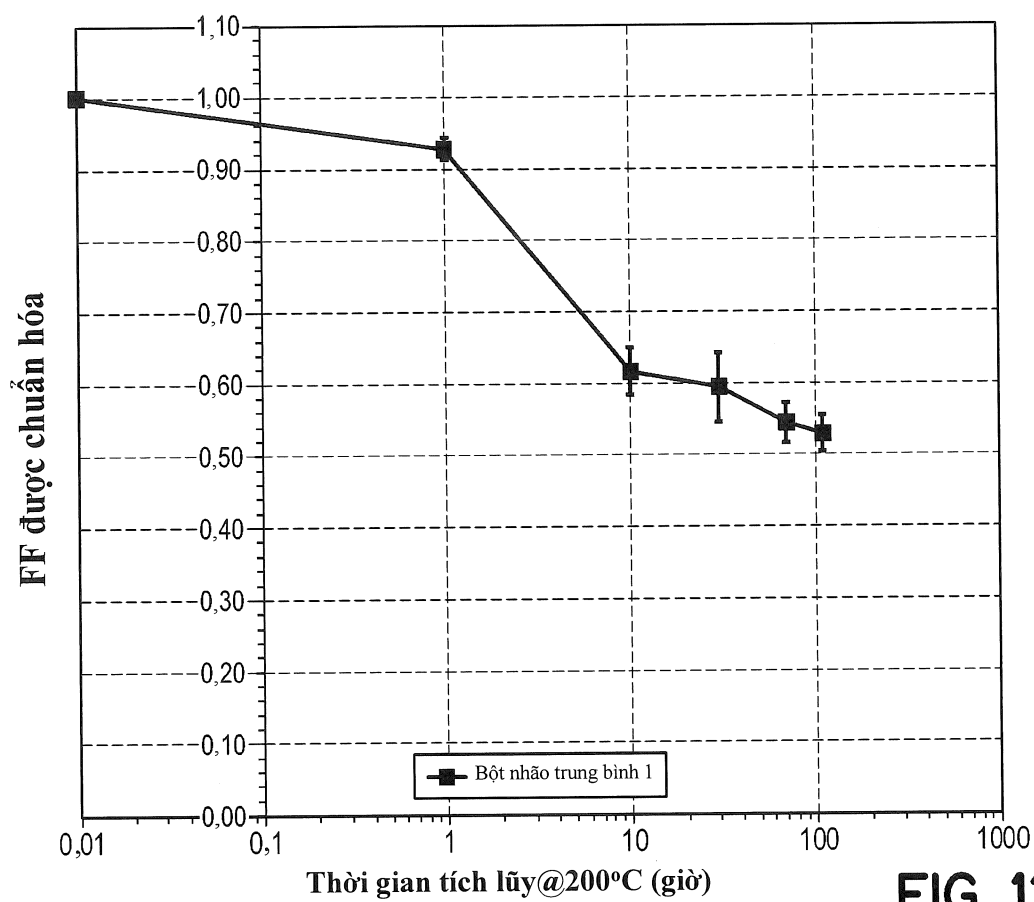


FIG. 11C

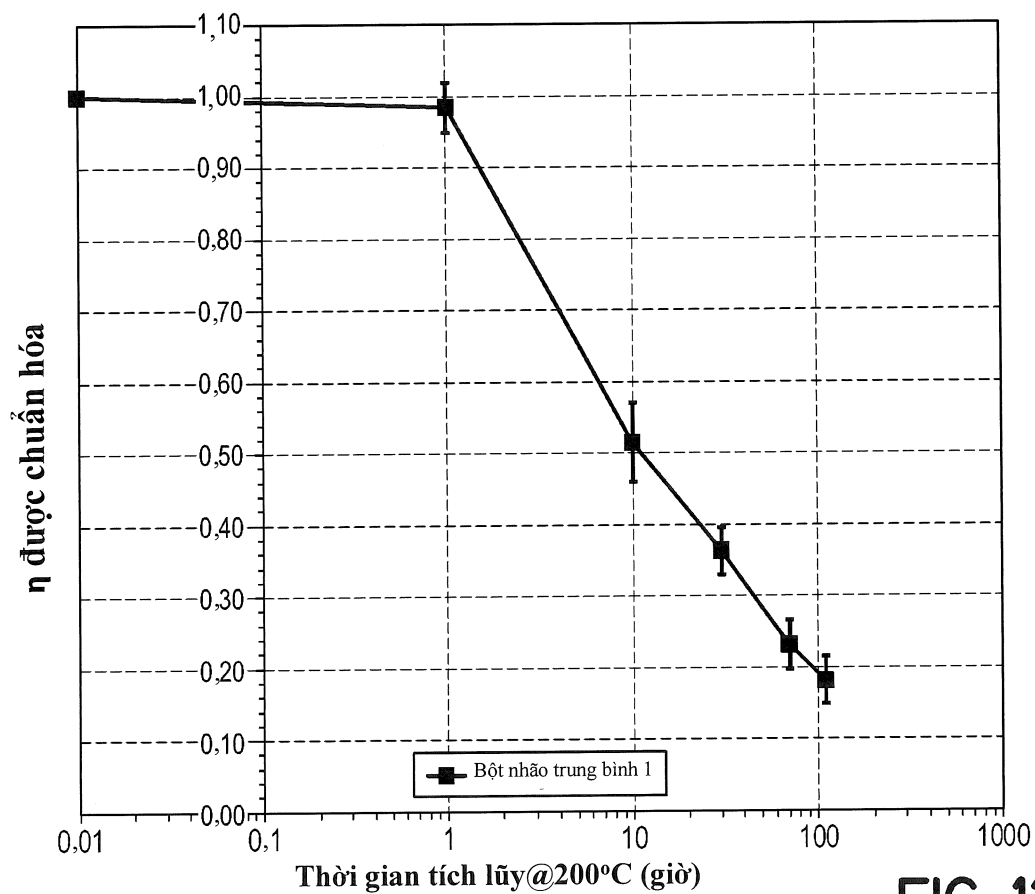


FIG. 11D

11/95

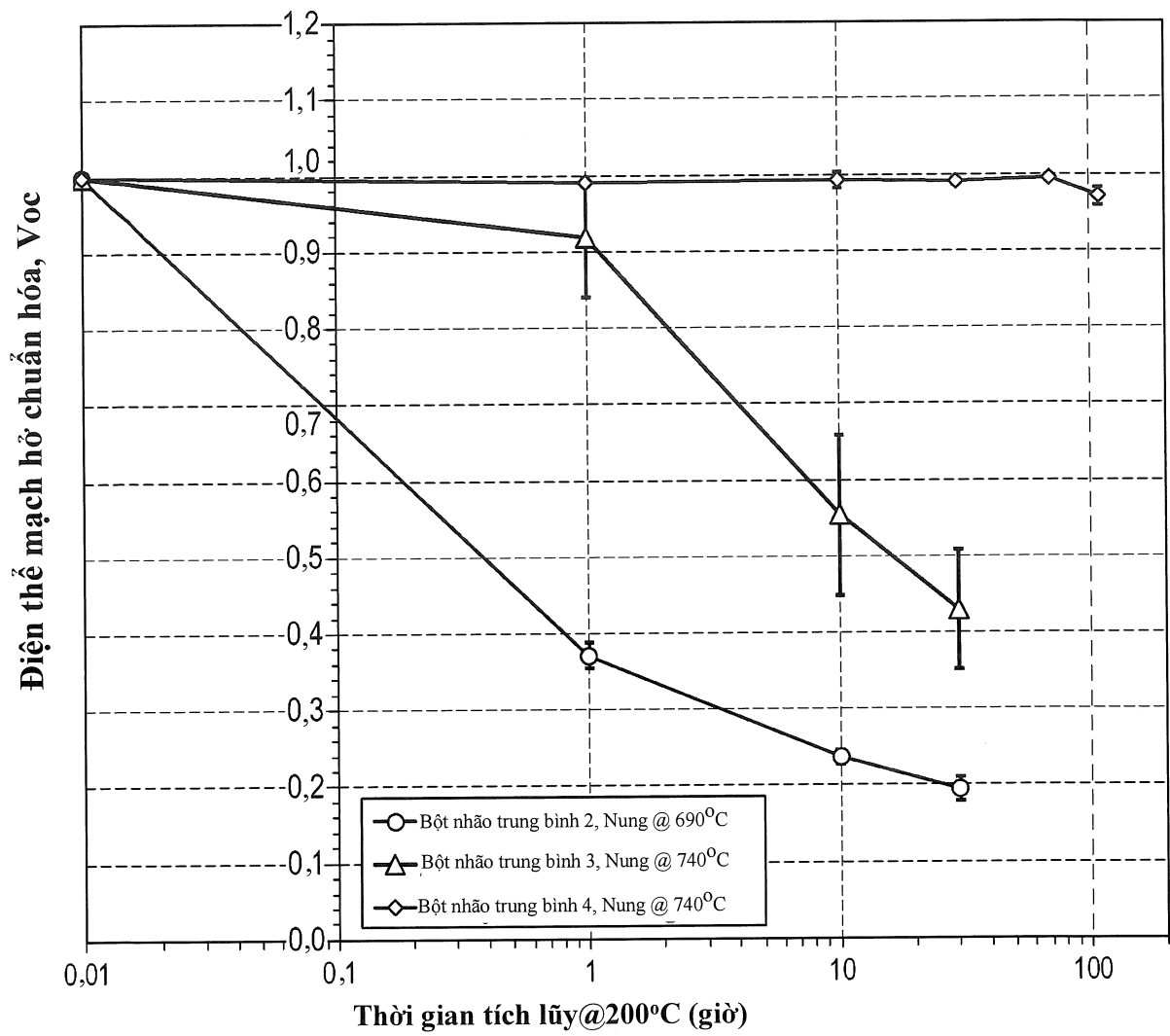
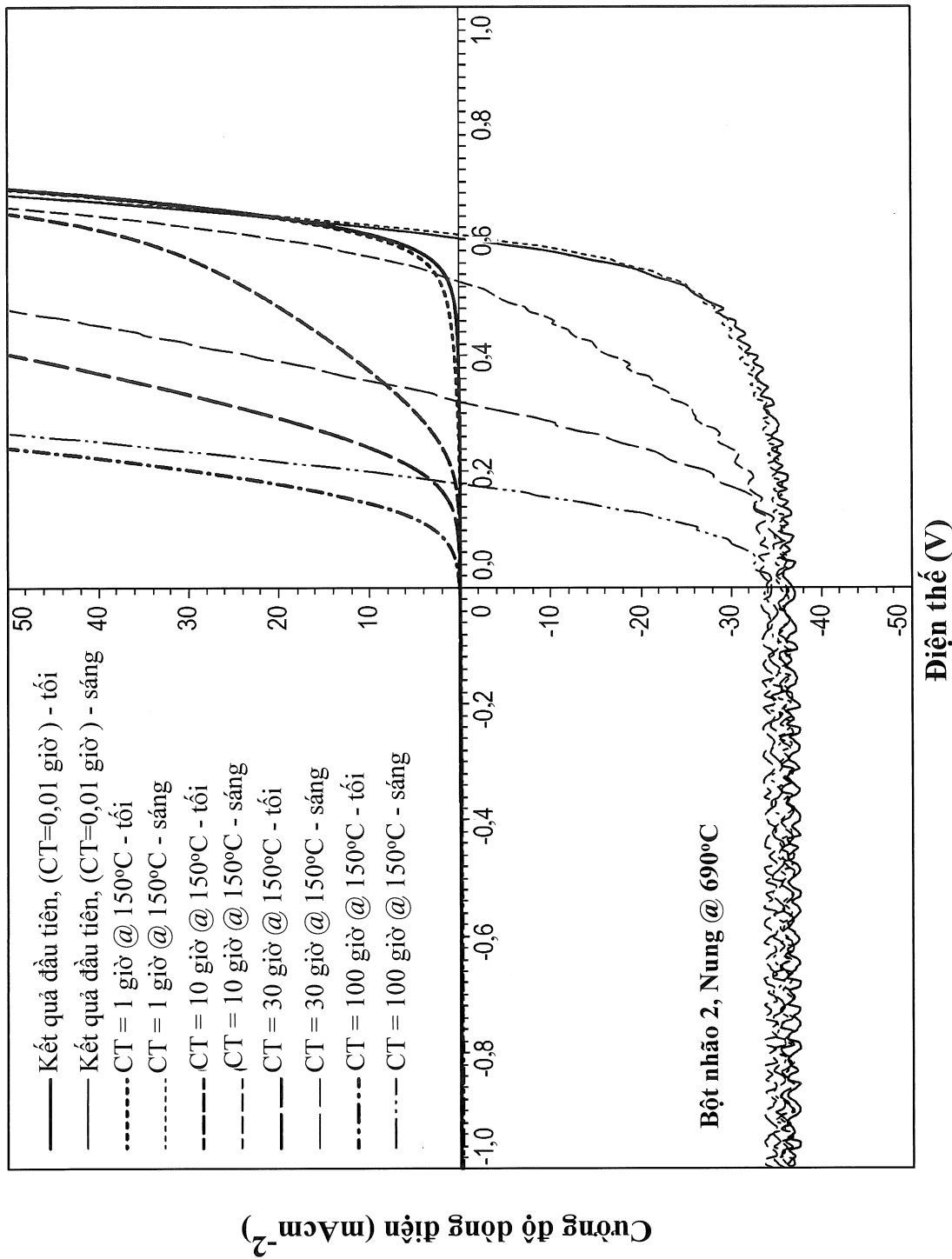
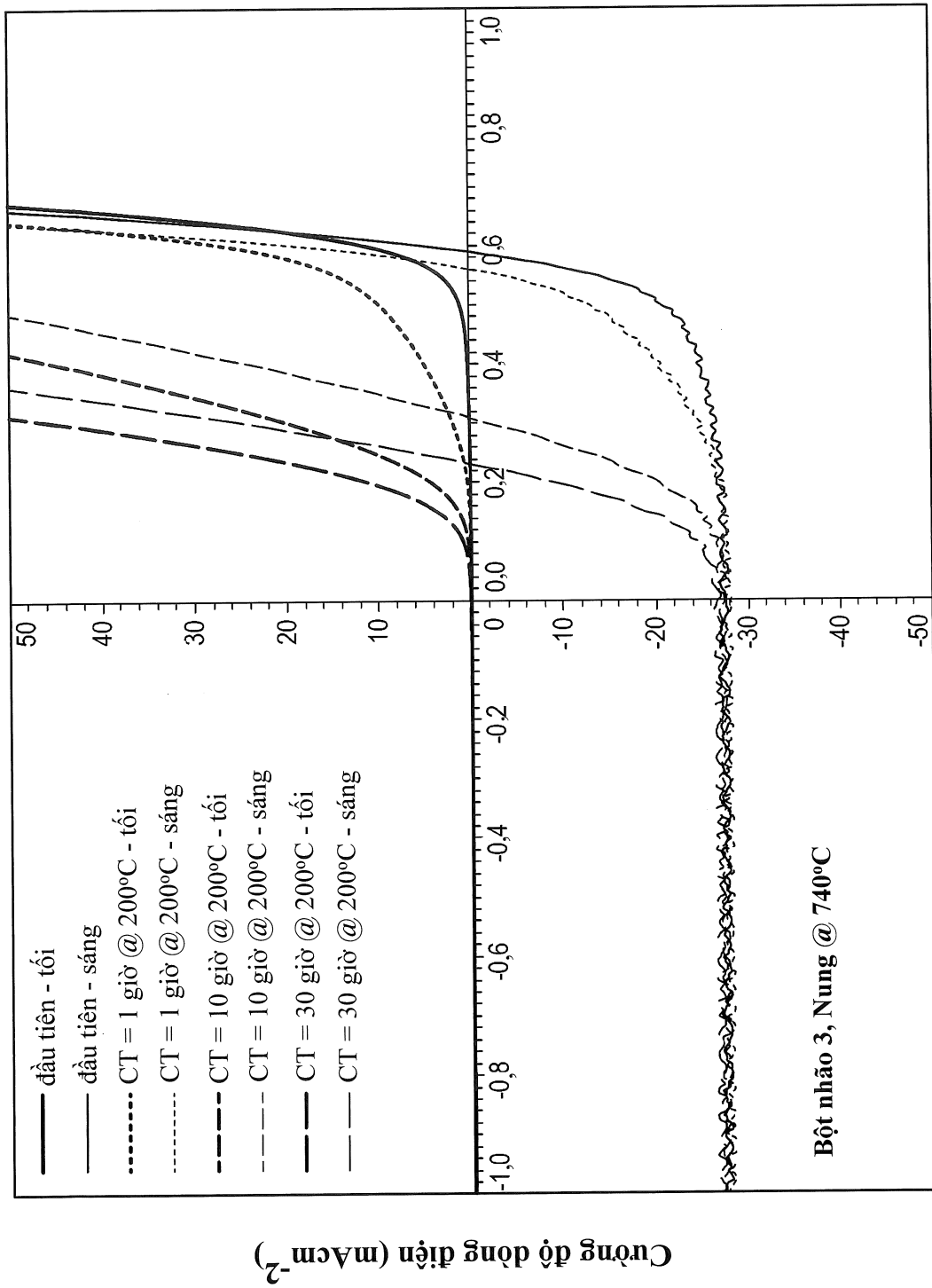


FIG. 12A

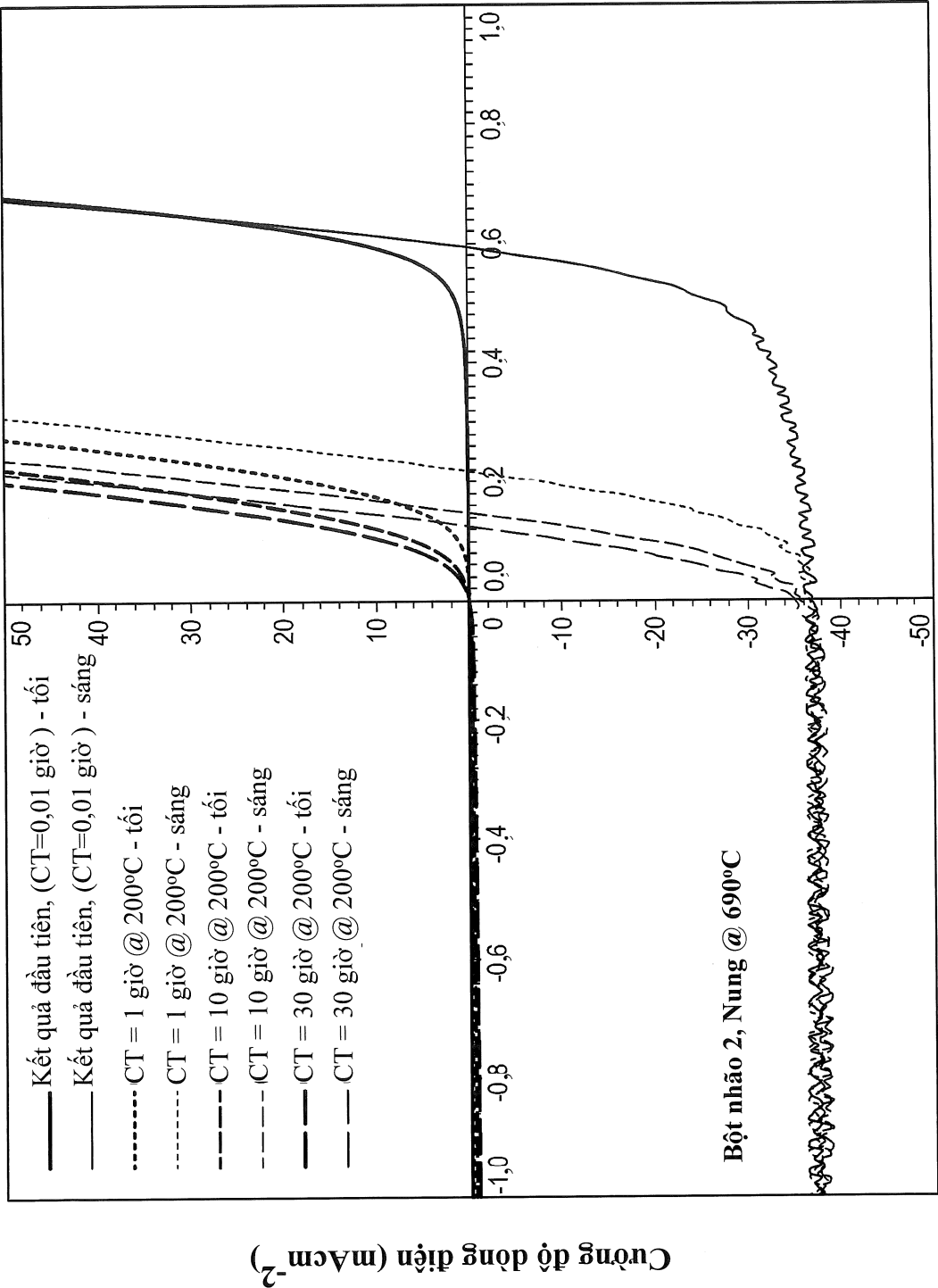
12/95





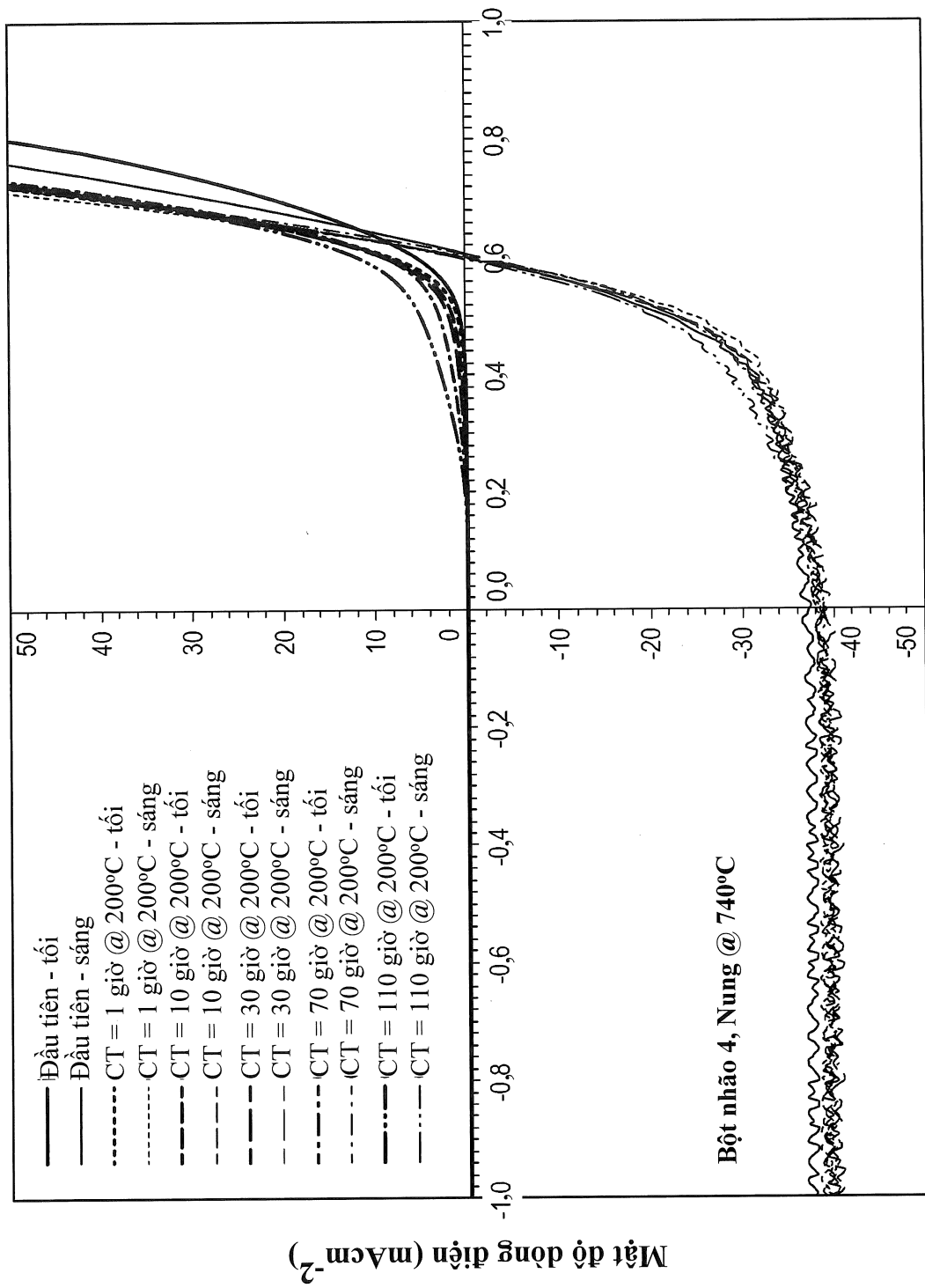
Điền thế (V)

FIG. 12C



Điện thế (V)

FIG. 12D



Điền thế (V)

FIG. 12E

16/95

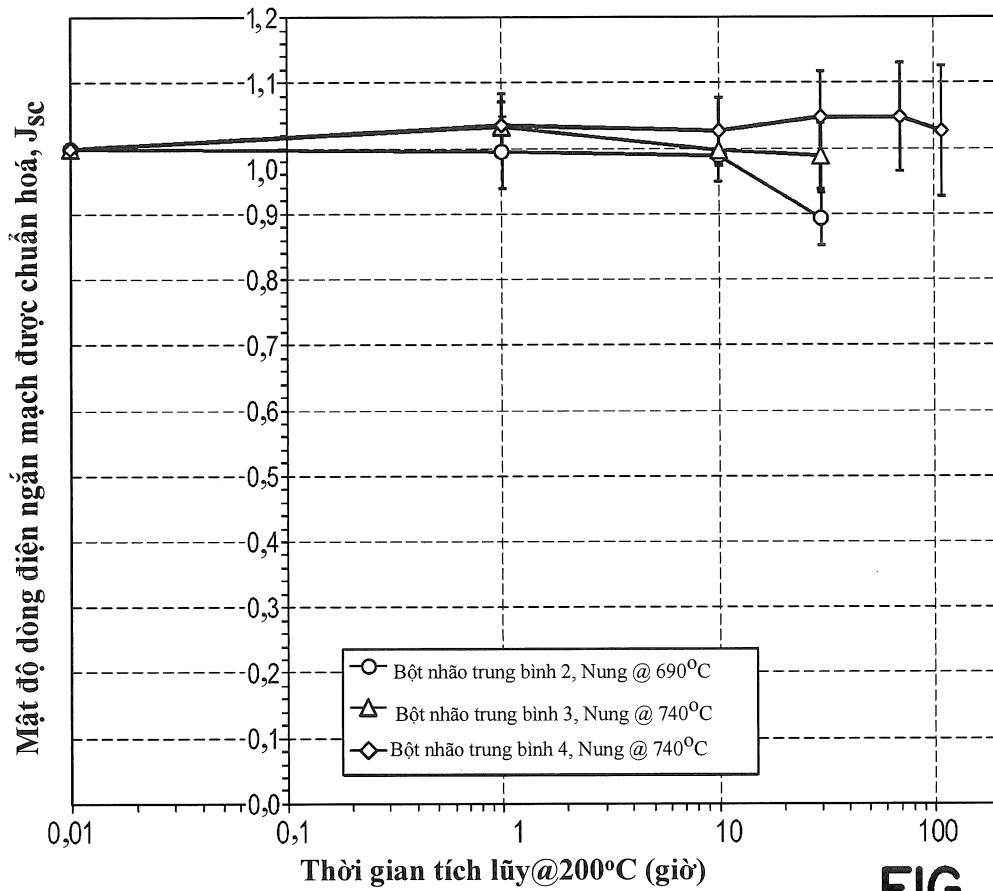


FIG. 12F

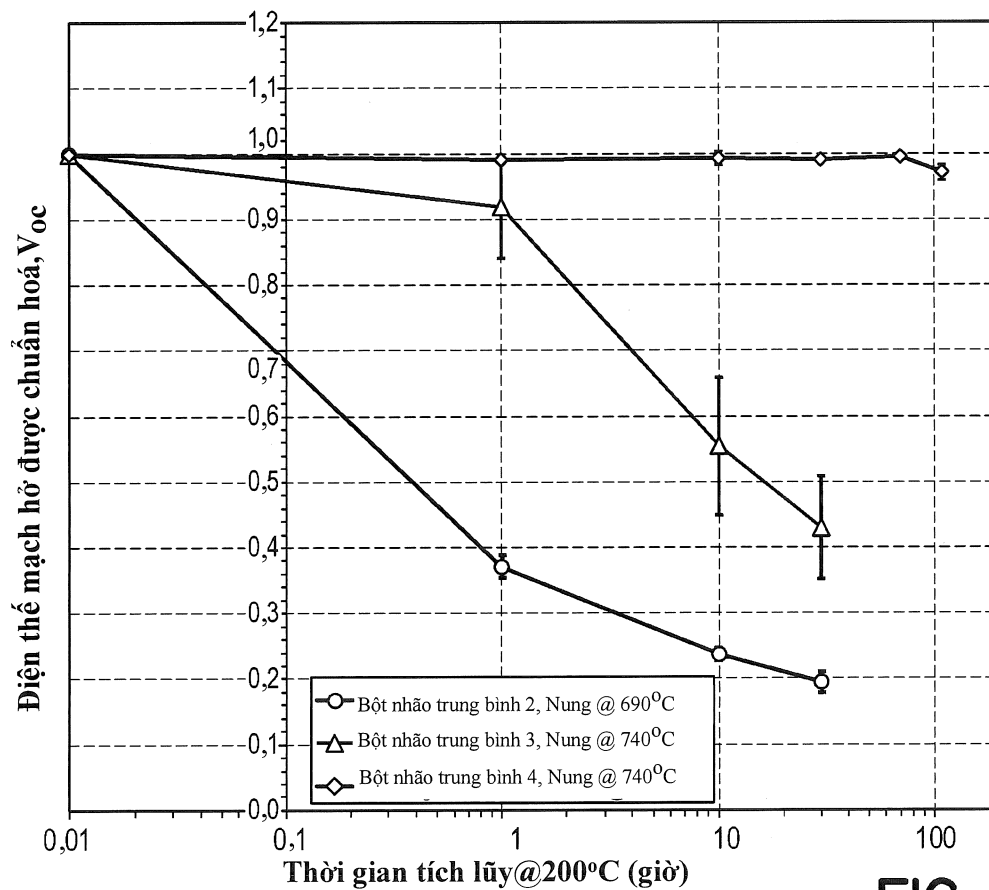


FIG. 12G

17/95

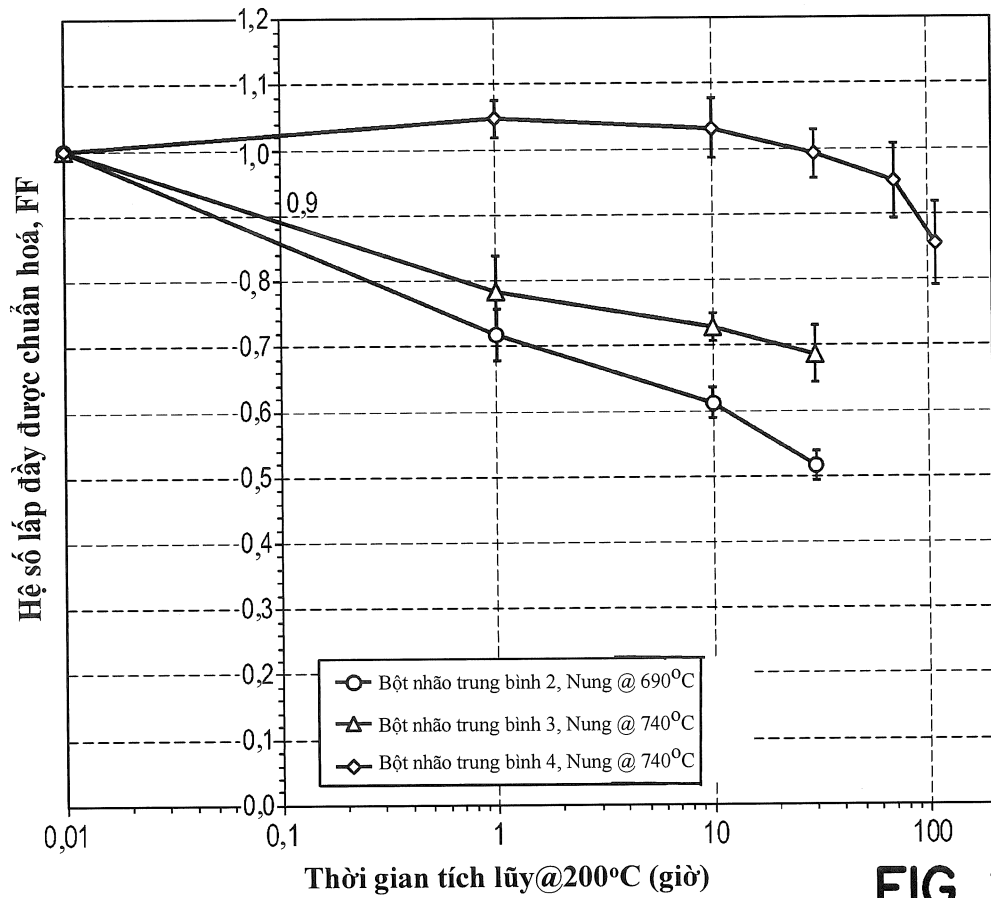


FIG. 12H

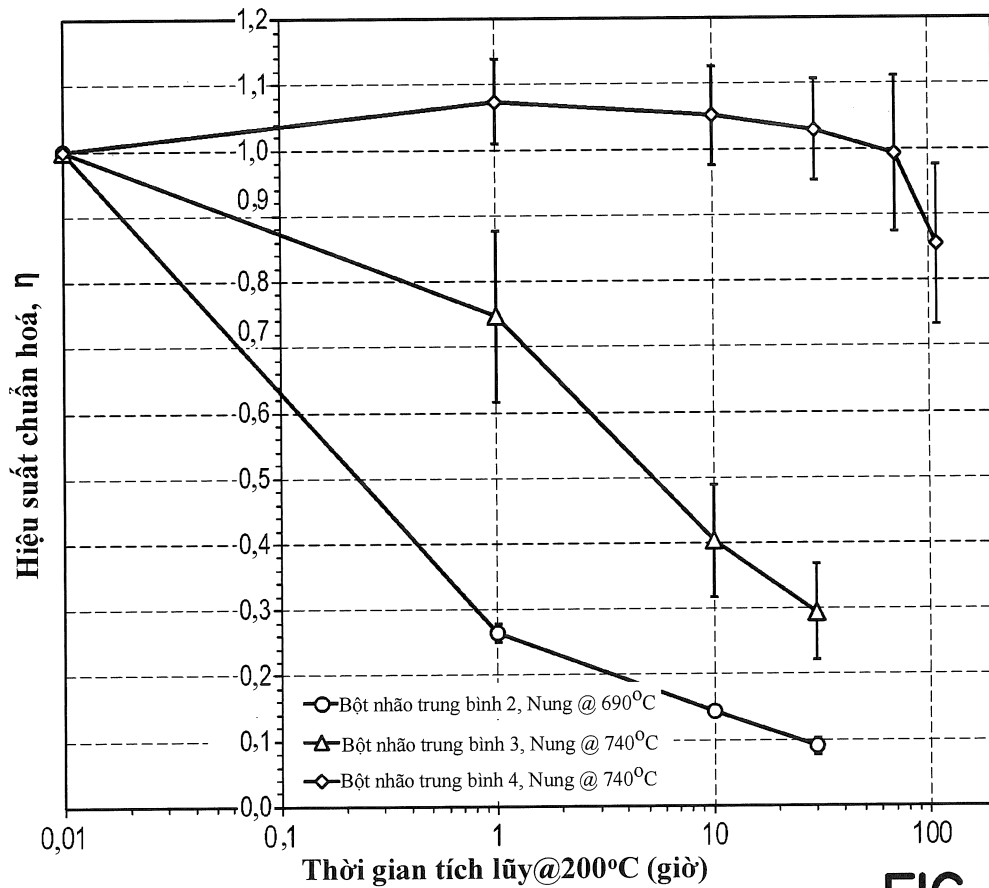


FIG. 12I

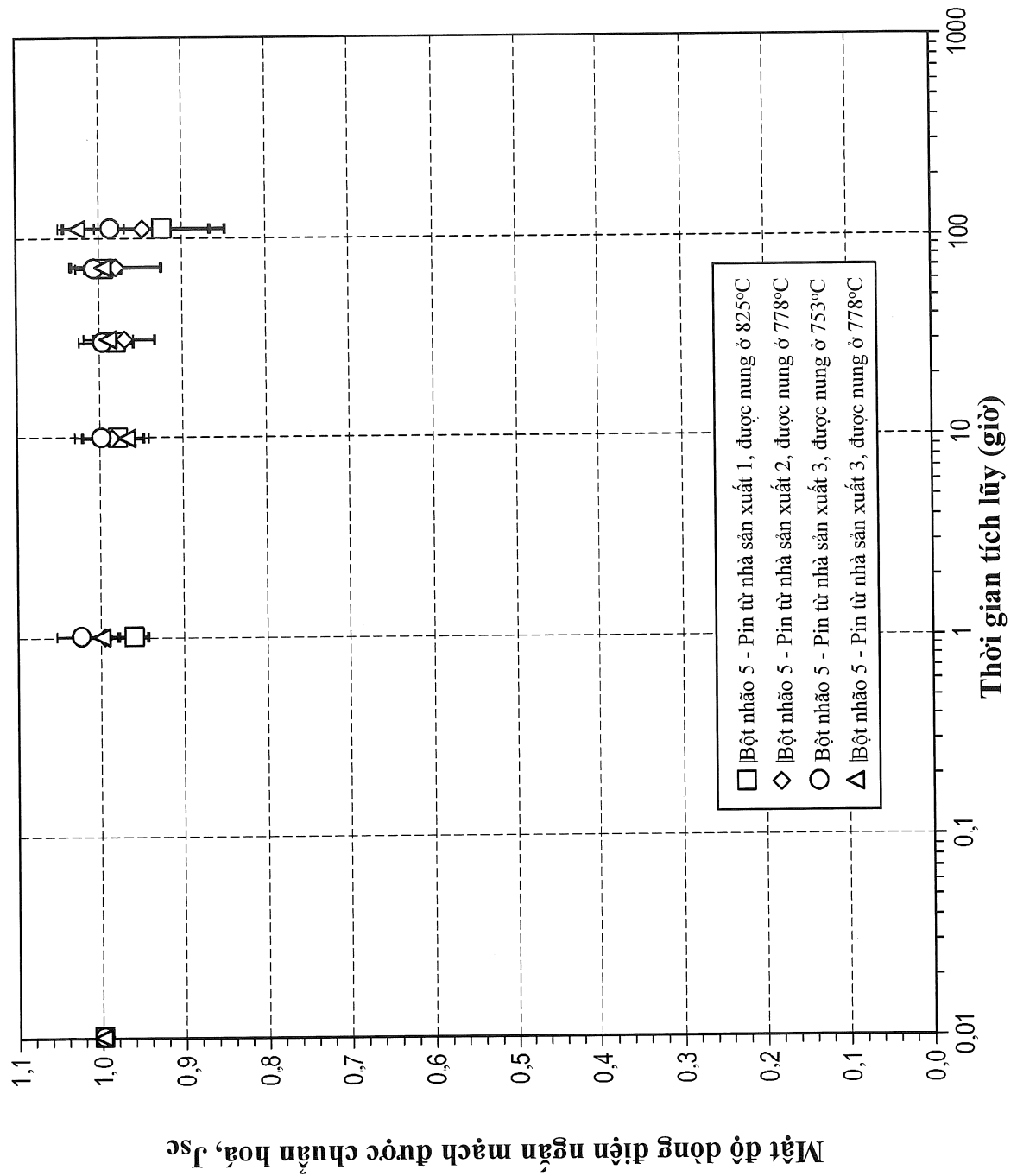


FIG. 13A

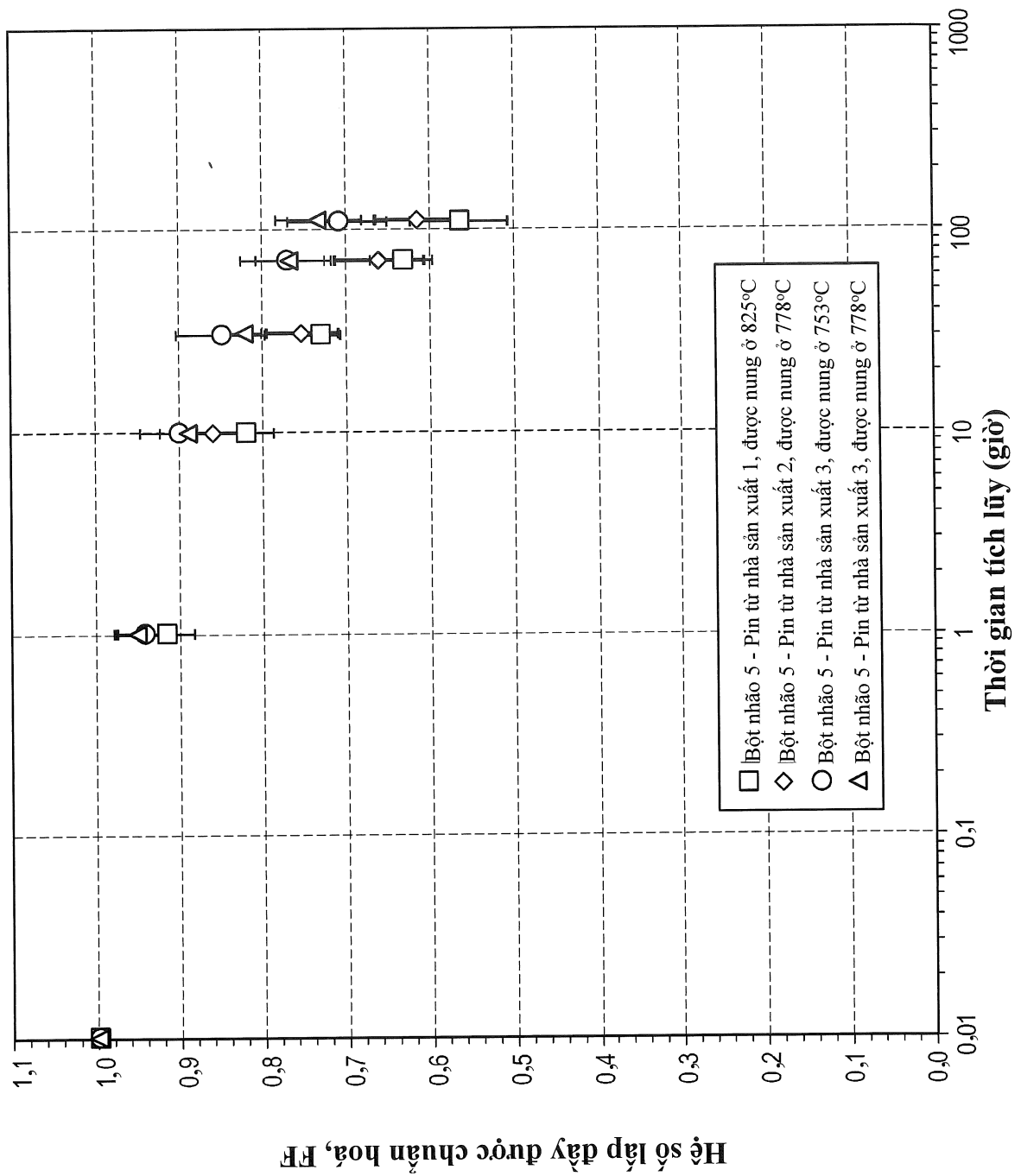


FIG. 13B

20/95

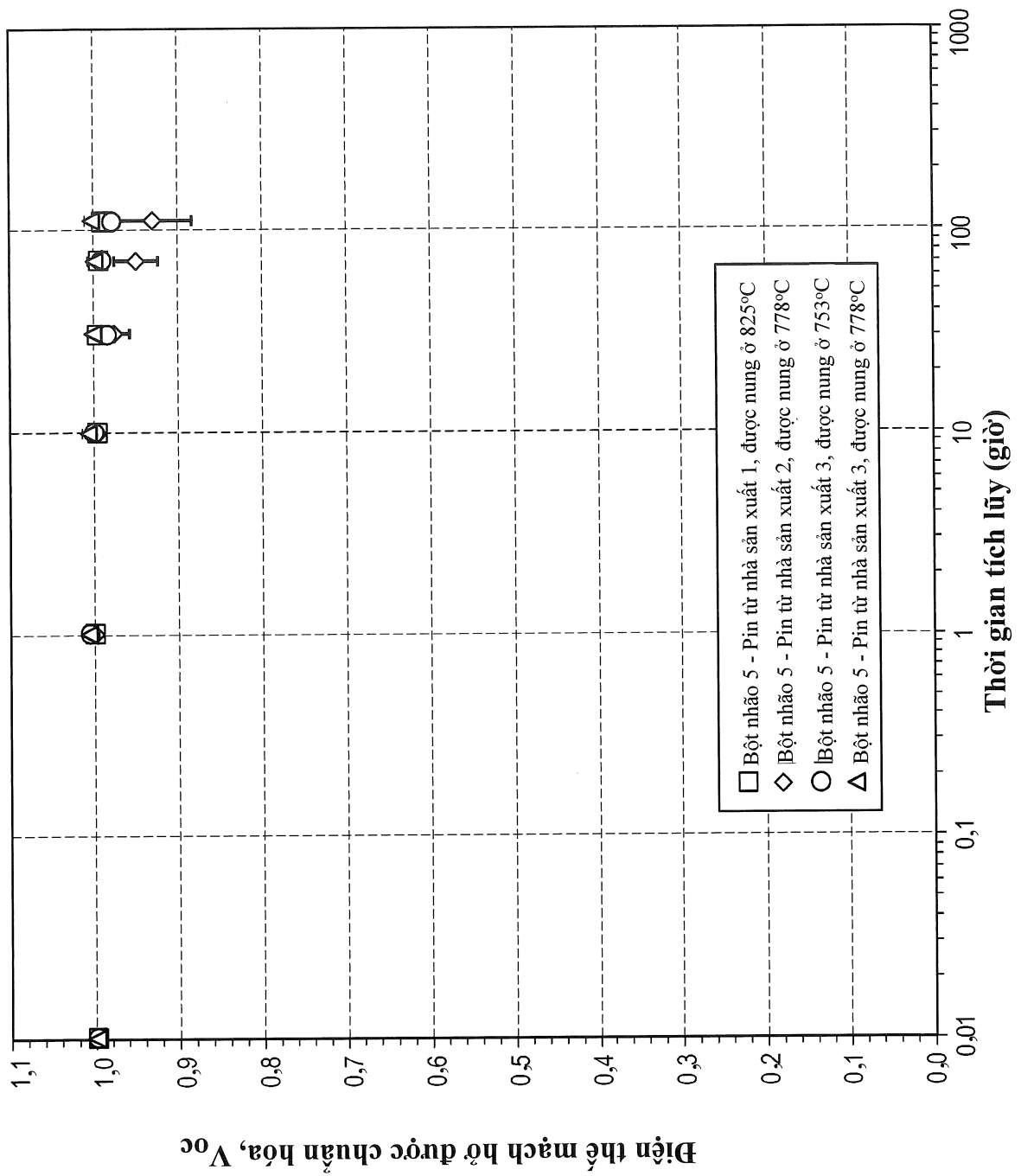


FIG. 13C

21/95

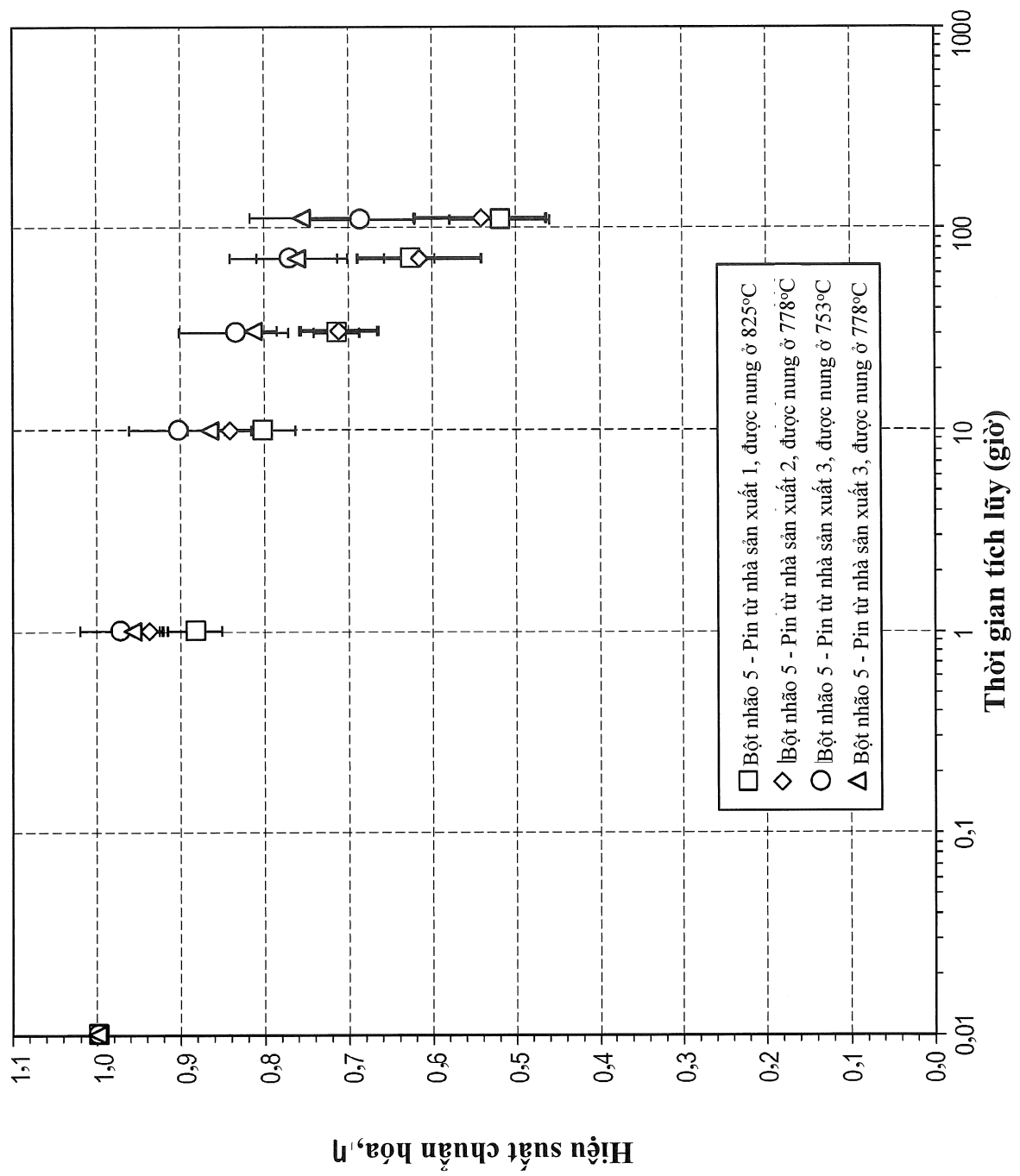
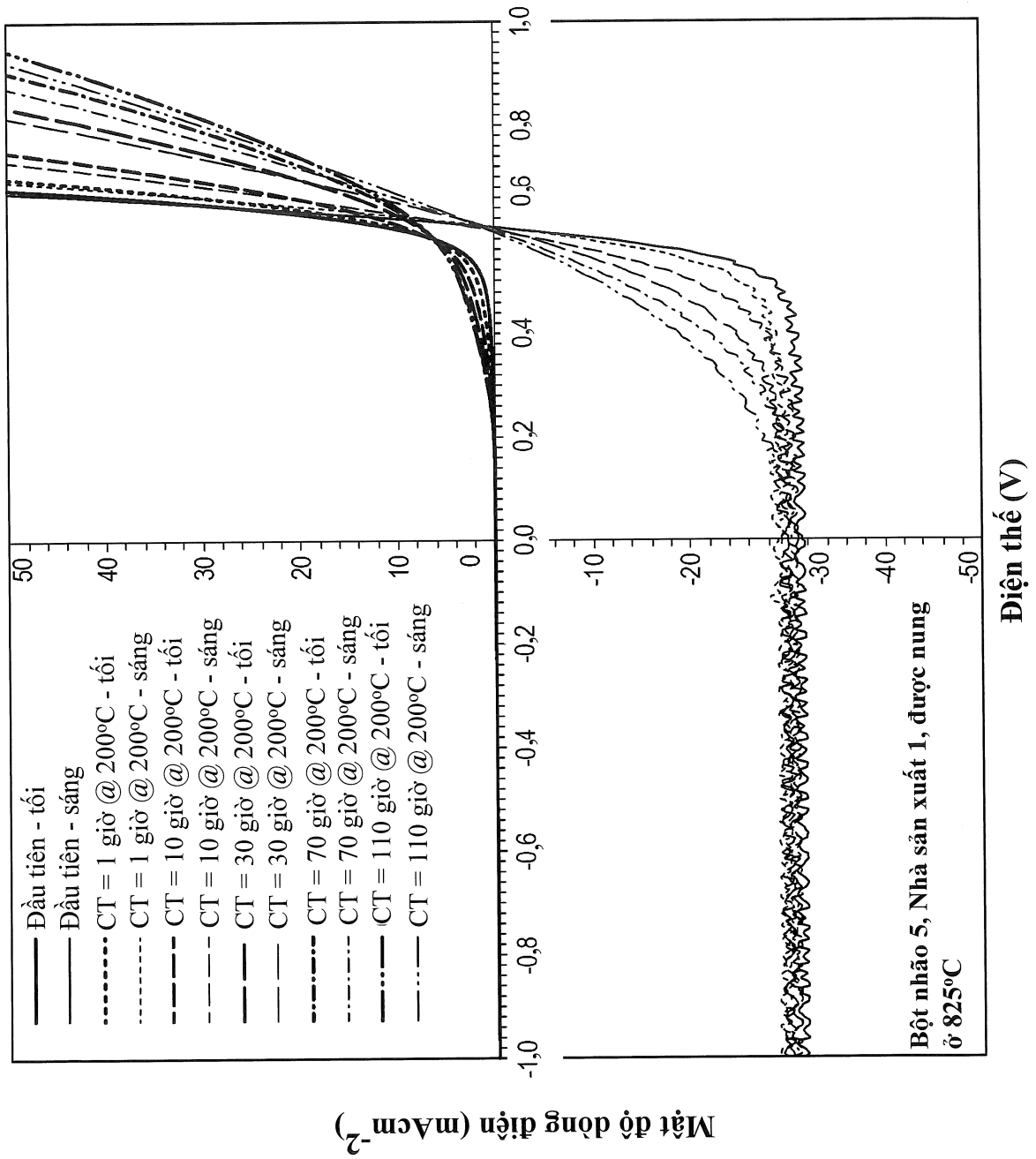
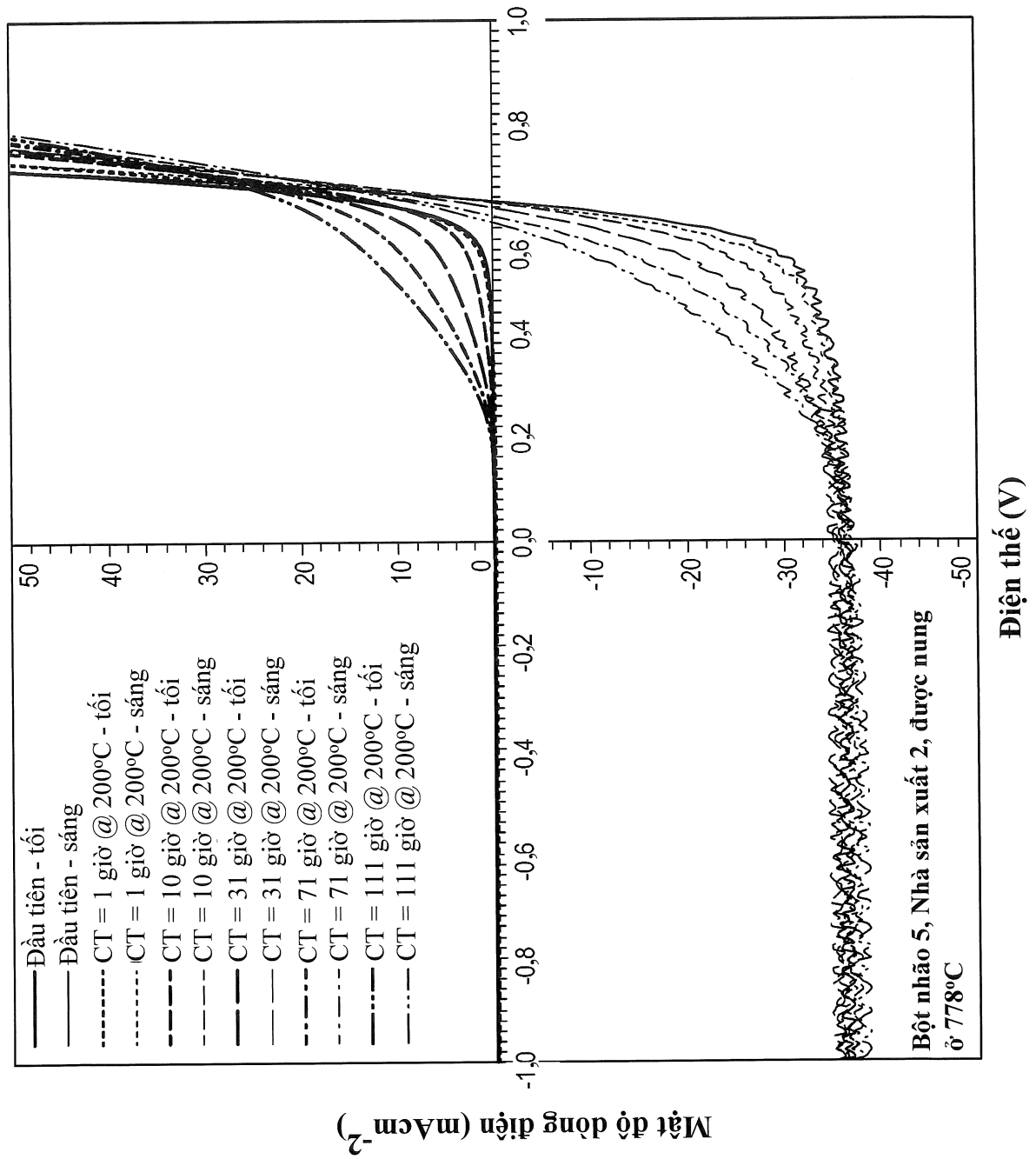


FIG. 13D

22/95

**FIG. 13E**

23/95



24/95

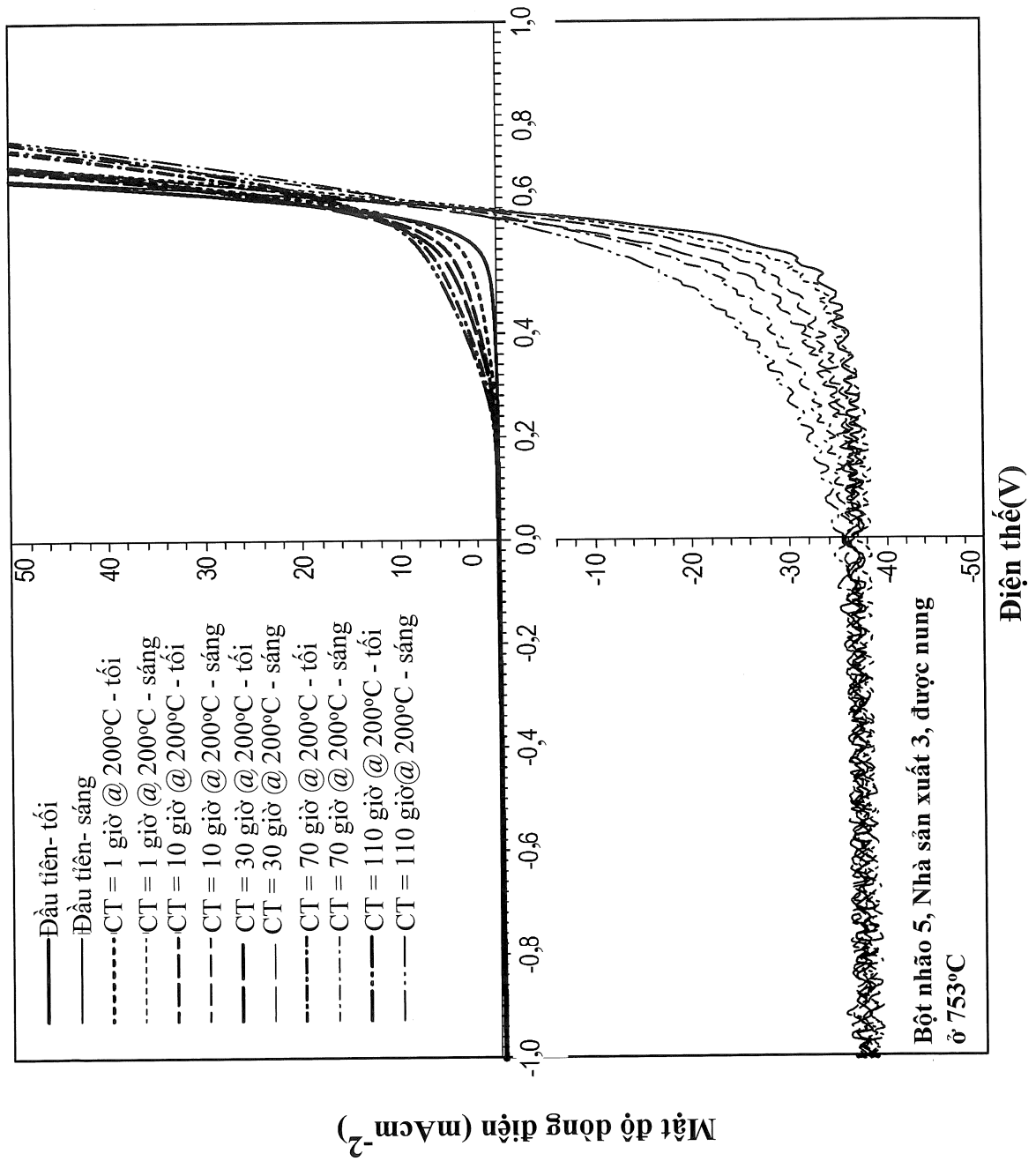


FIG. 13G

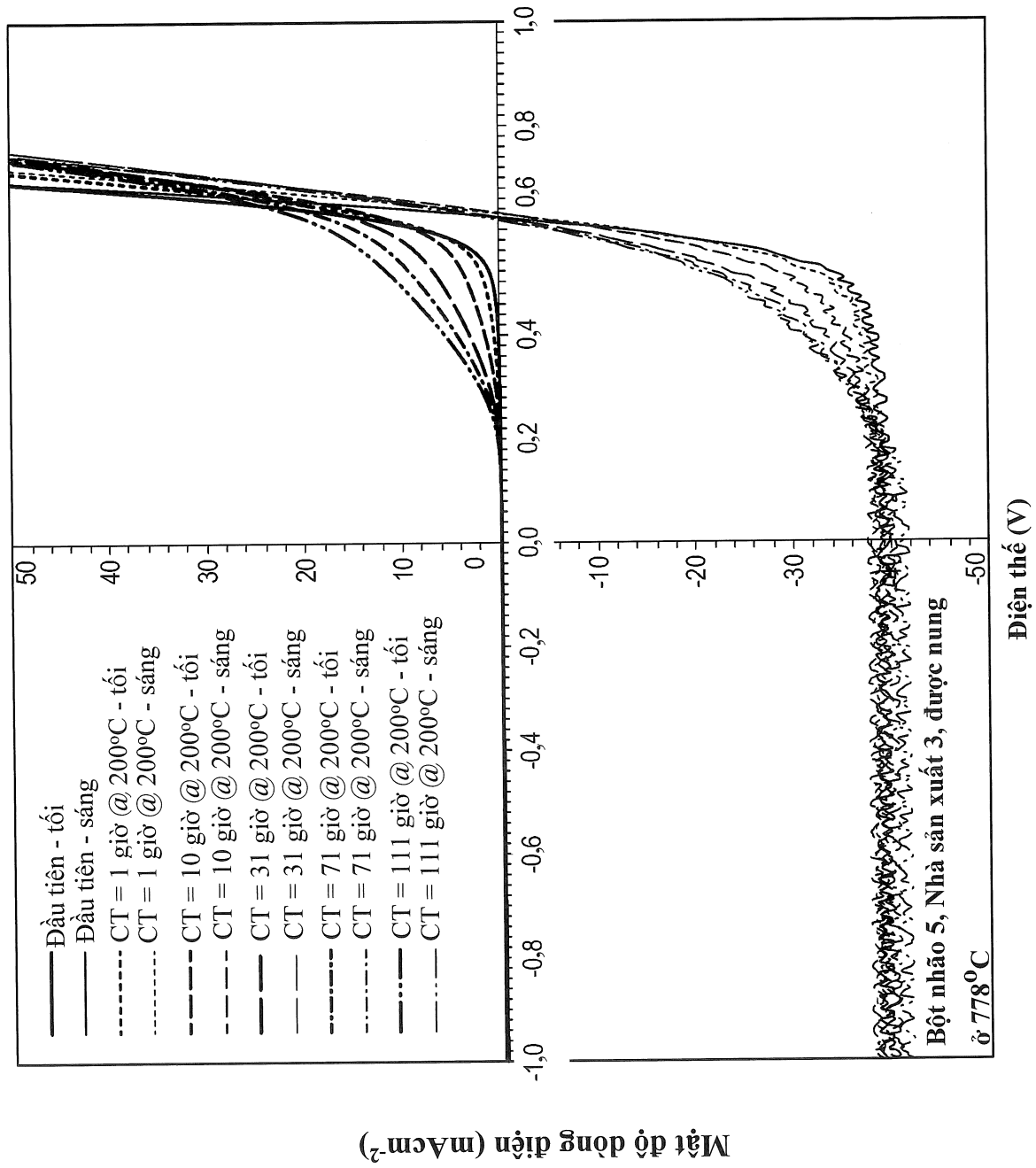


FIG. 13H

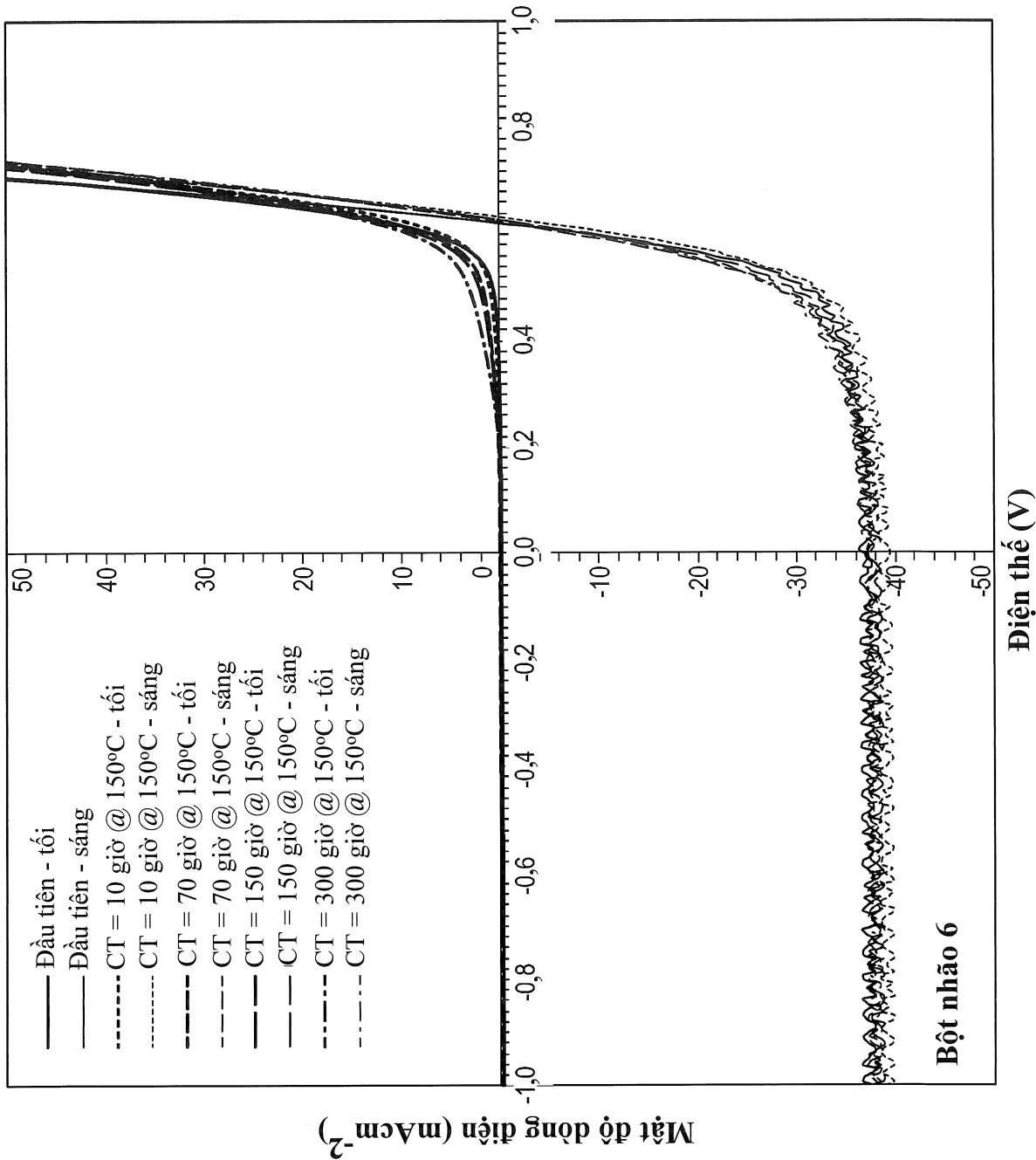


FIG. 14A

Điện thế (V)

Biotin 6

Mật độ dòng điện (mA cm^{-2})



27/95

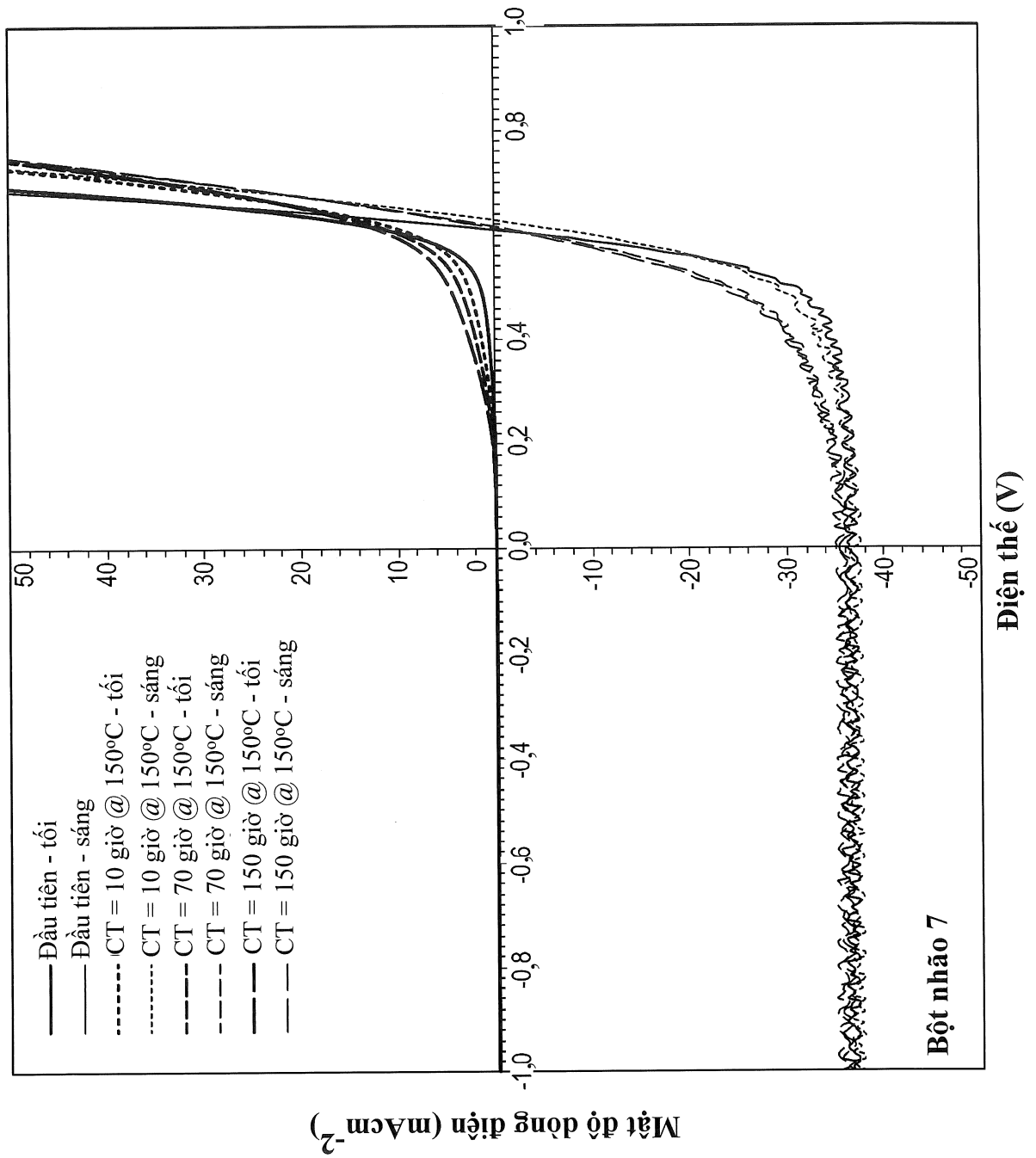


FIG. 14B

28/95

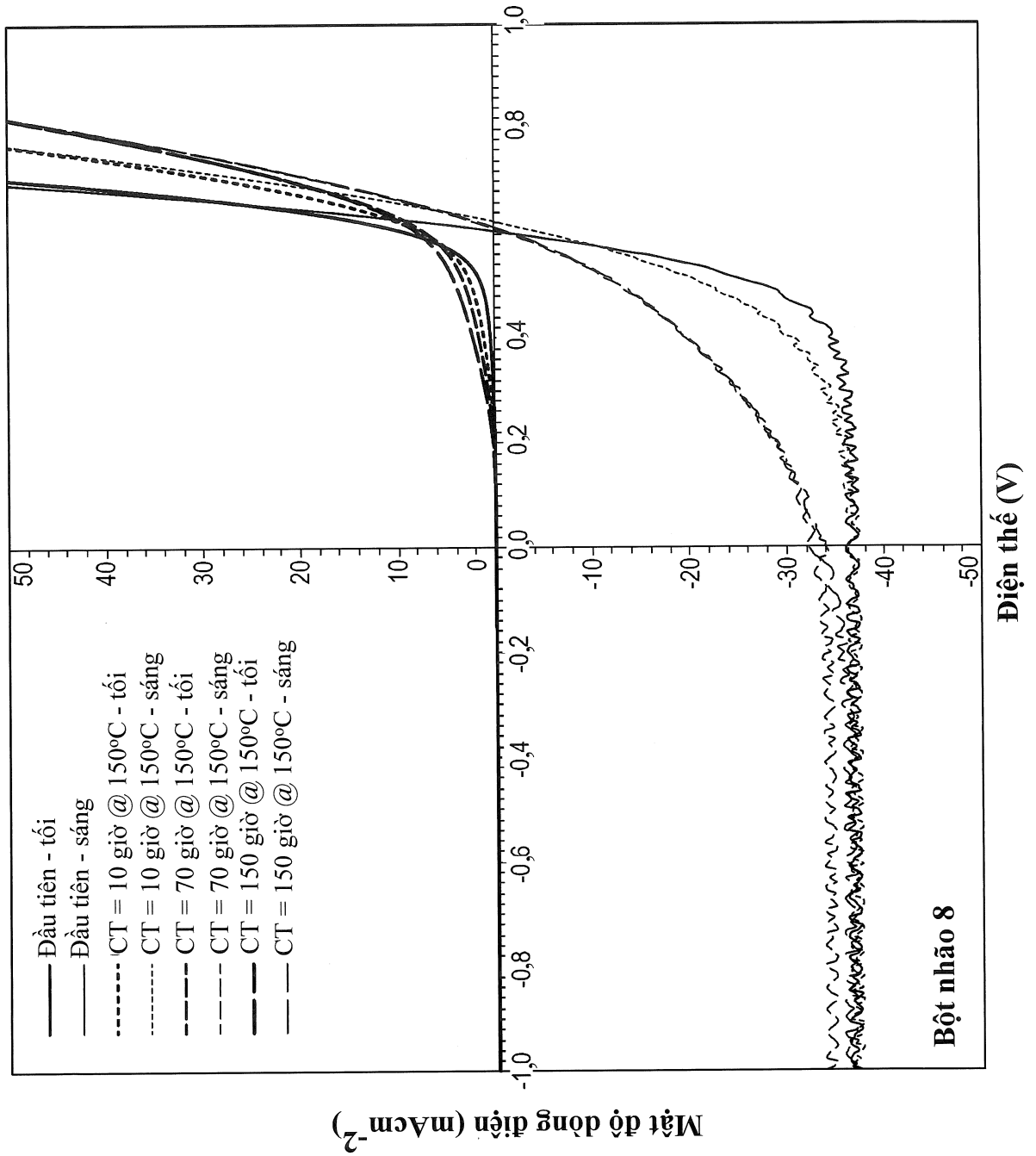


FIG. 14C

29/95

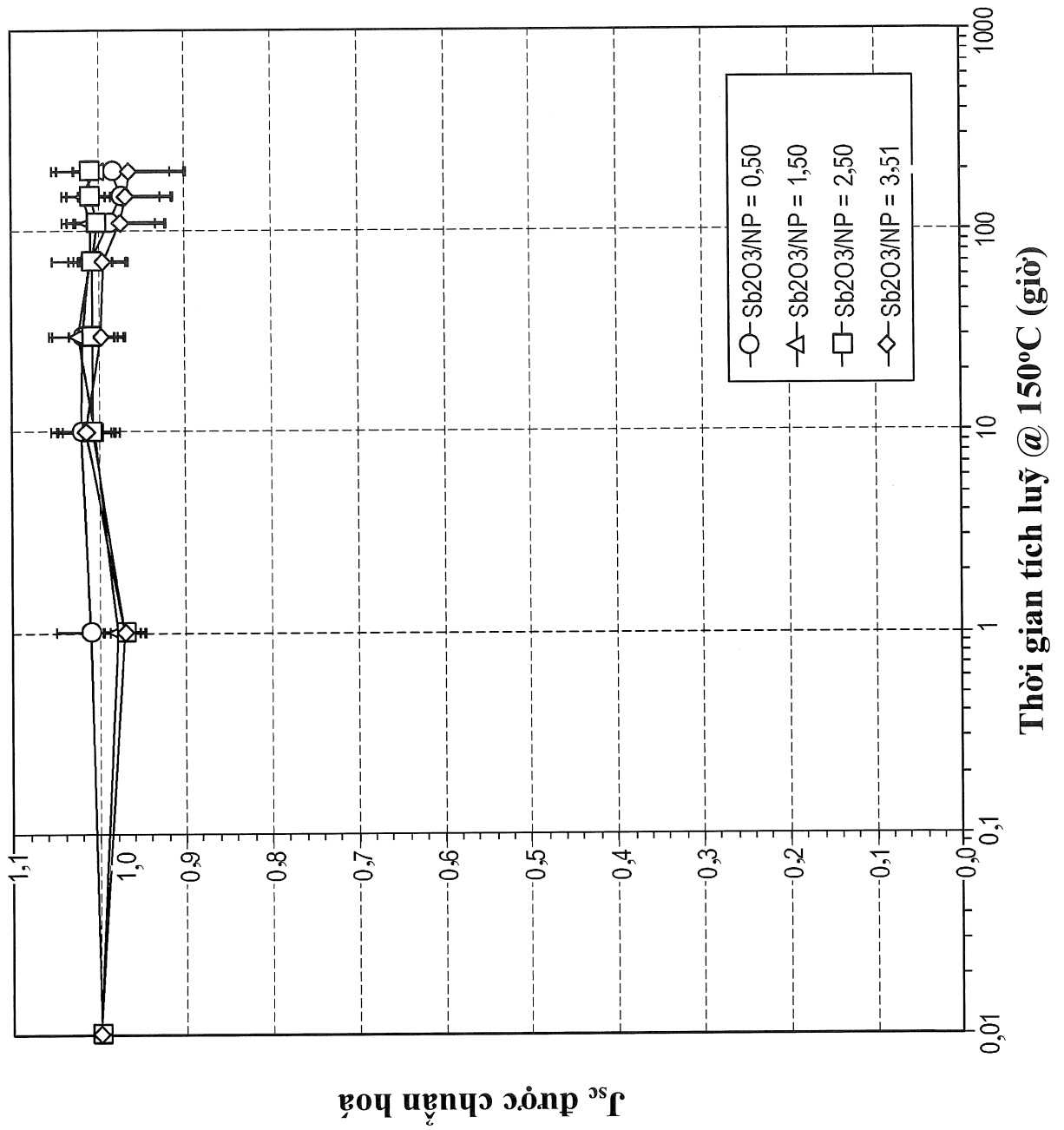


FIG. 15A

30/95

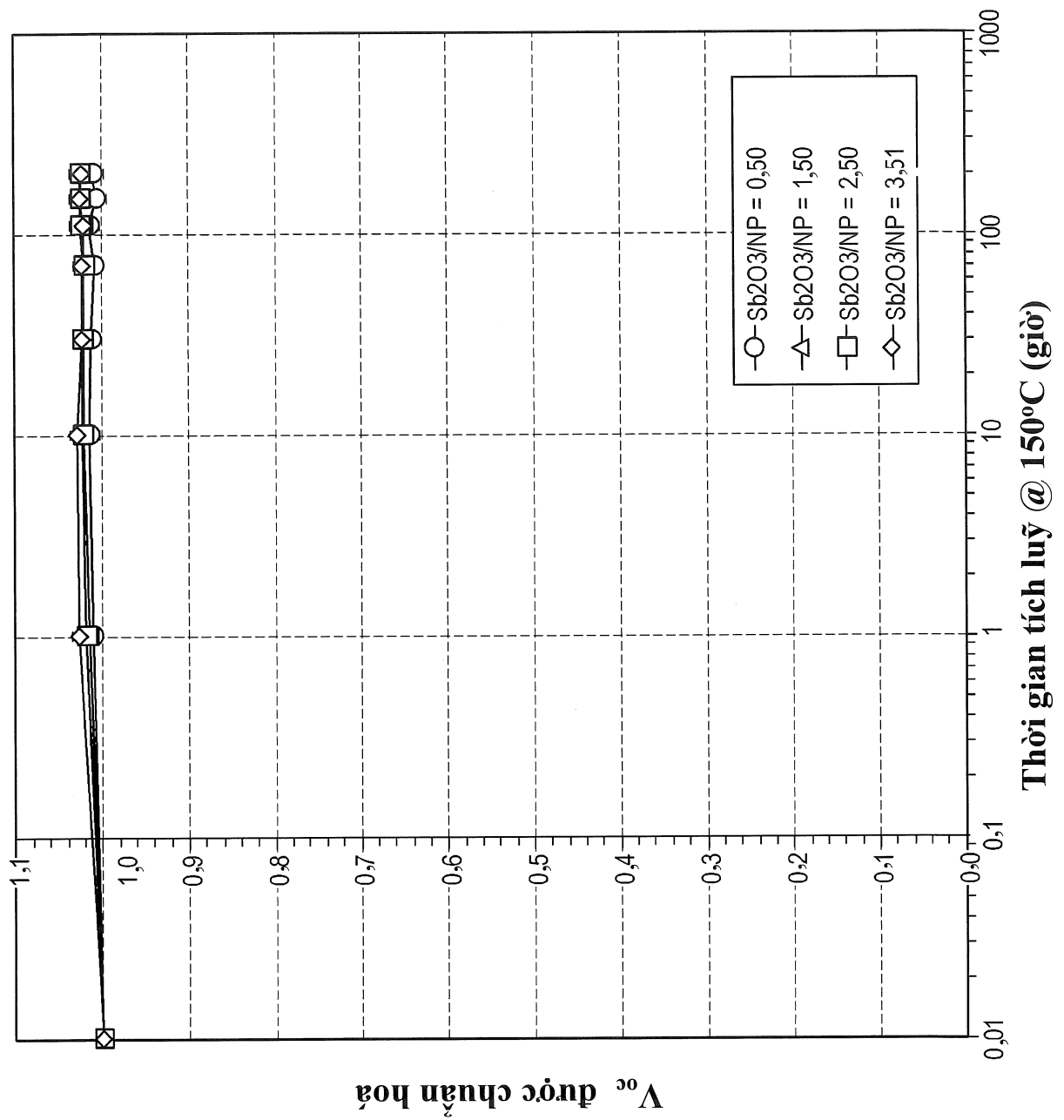


FIG. 15B

31/95

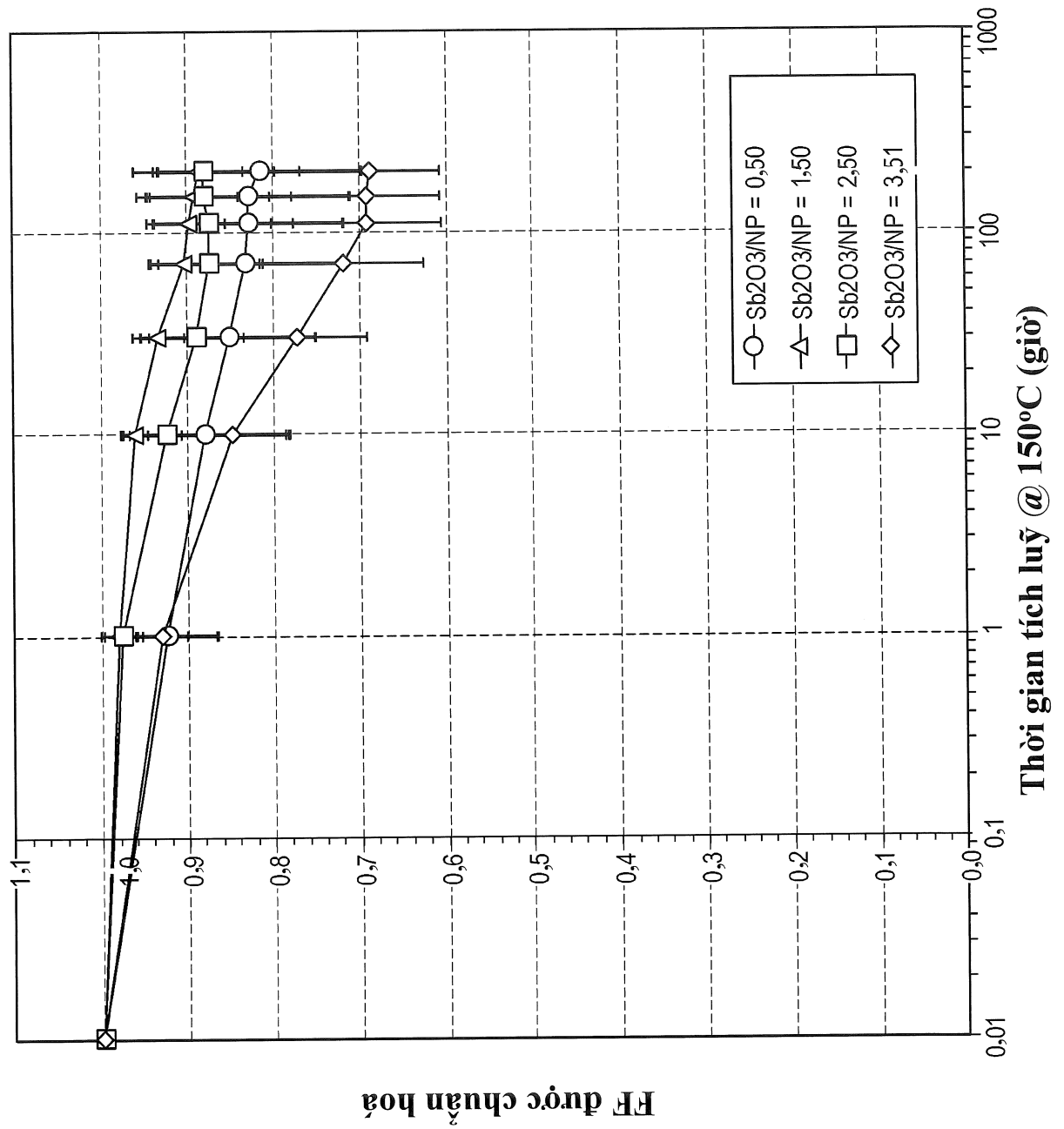


FIG. 15C

32/95

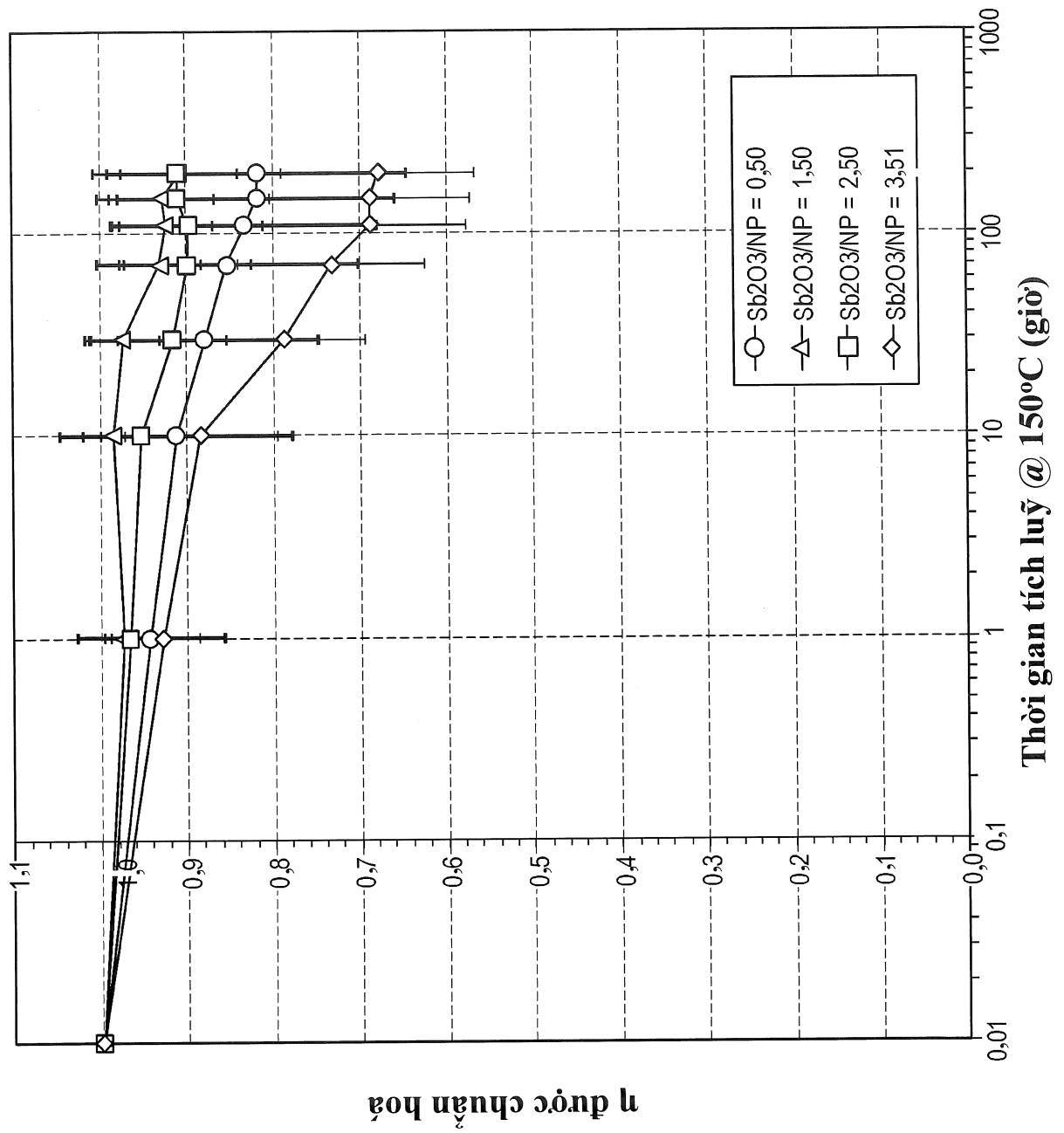


FIG. 15D

33/95

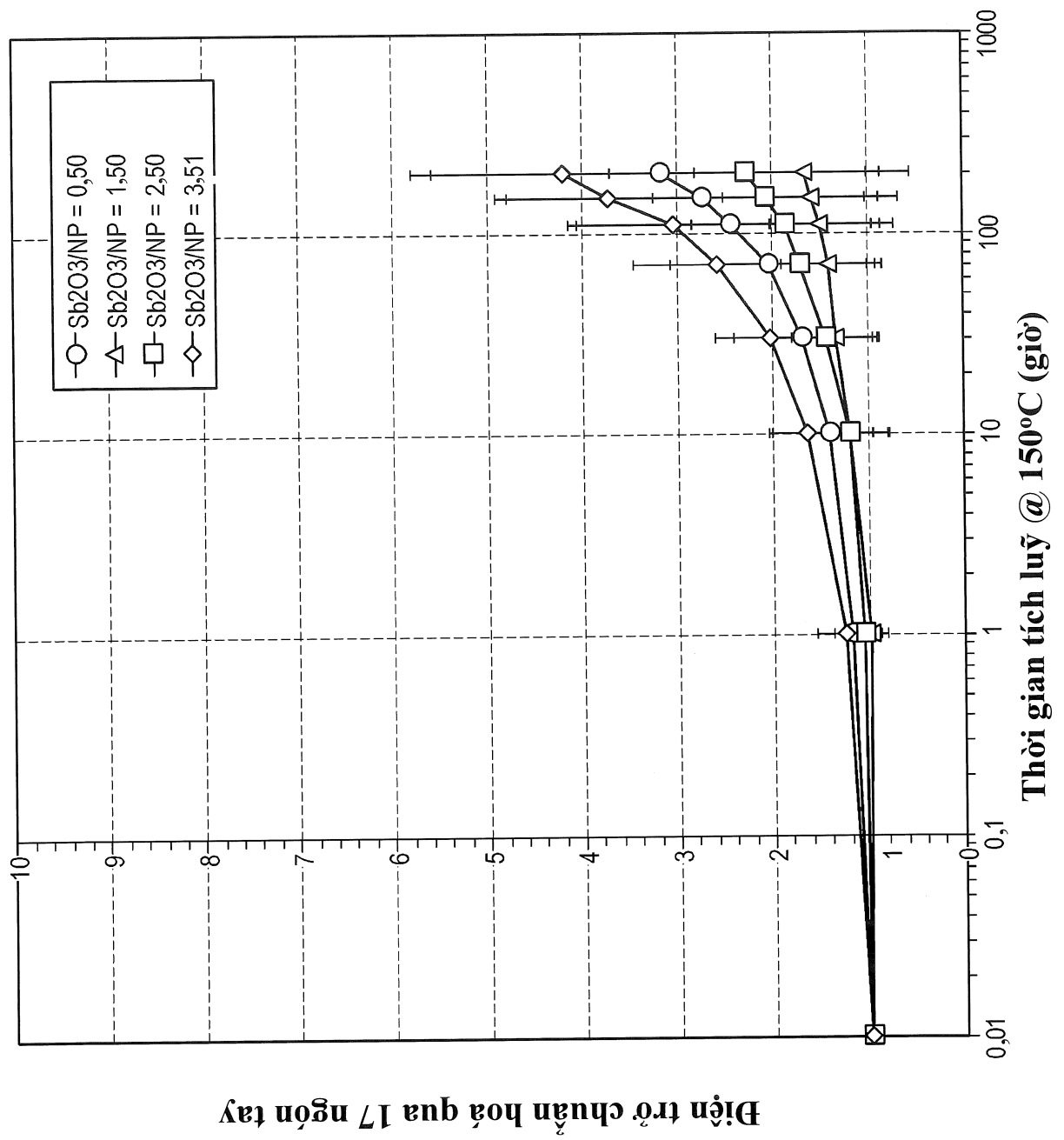


FIG. 15E

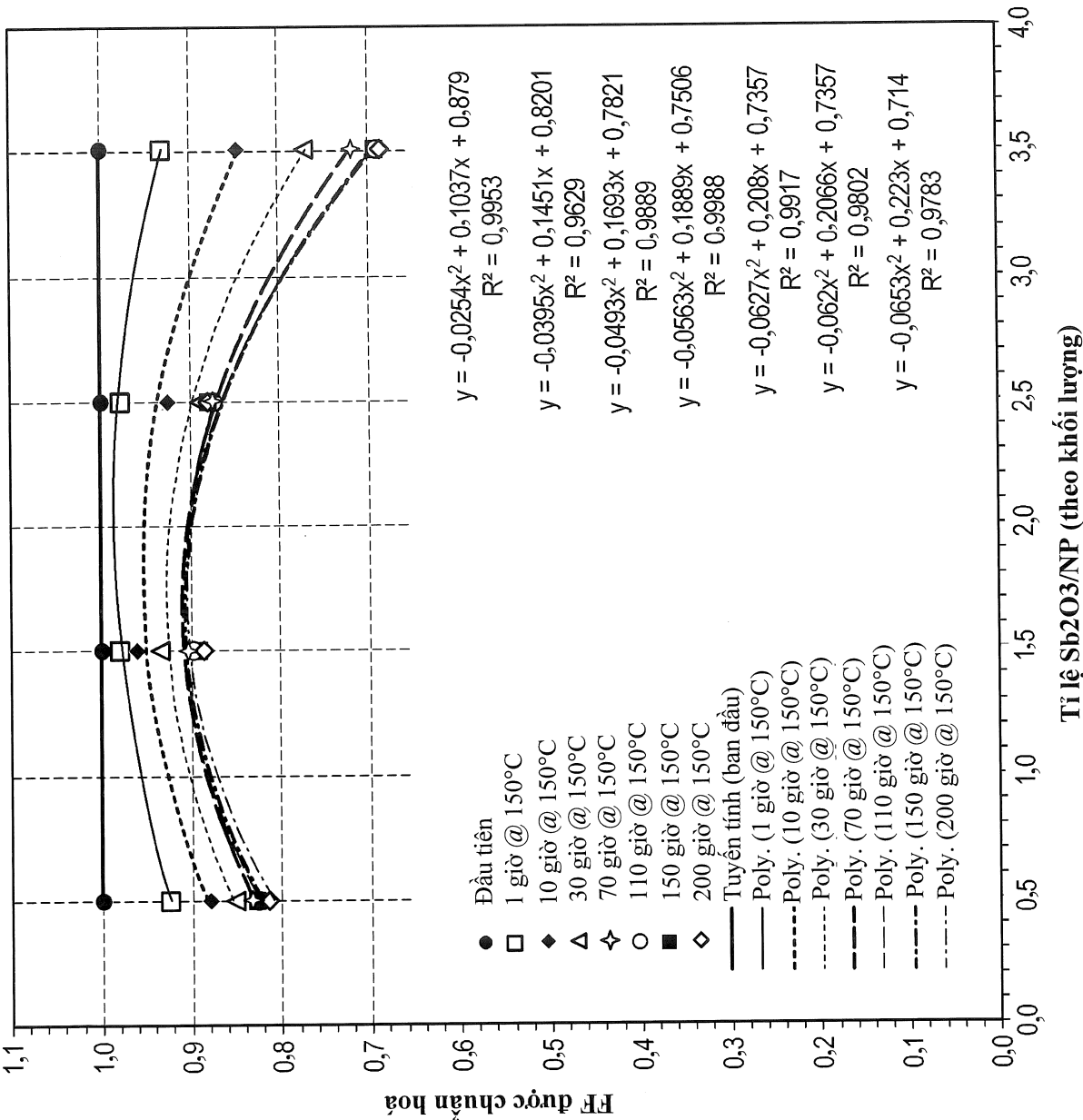


FIG. 15F



35/95

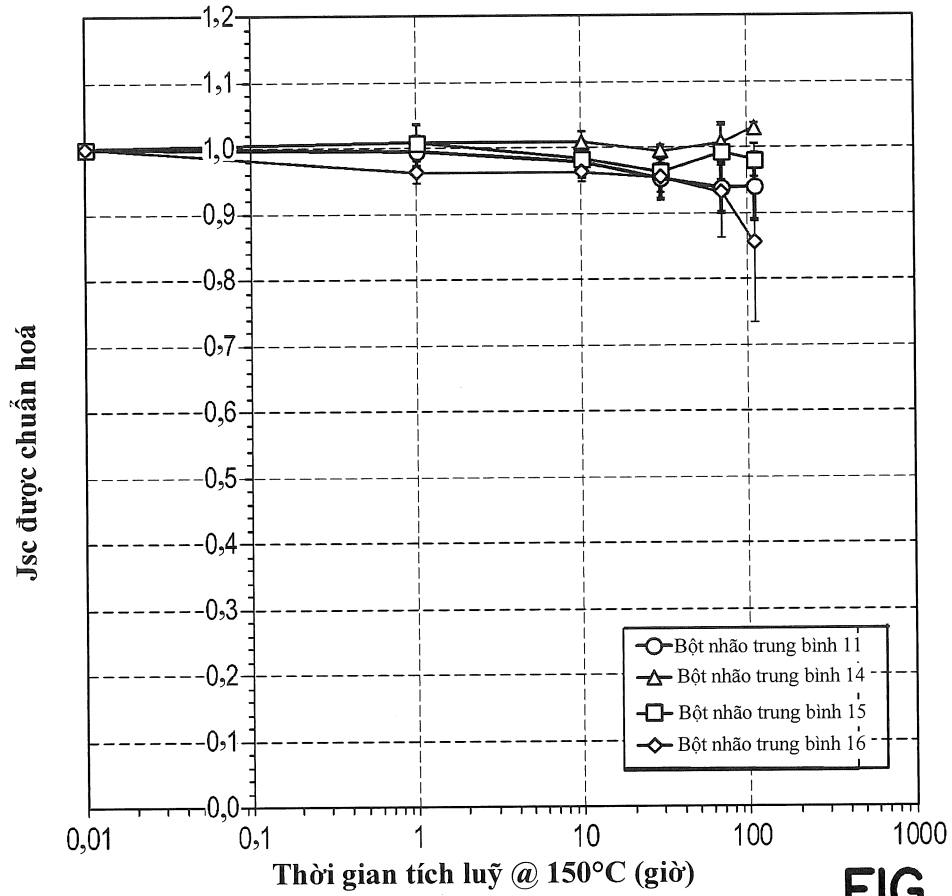


FIG. 16A

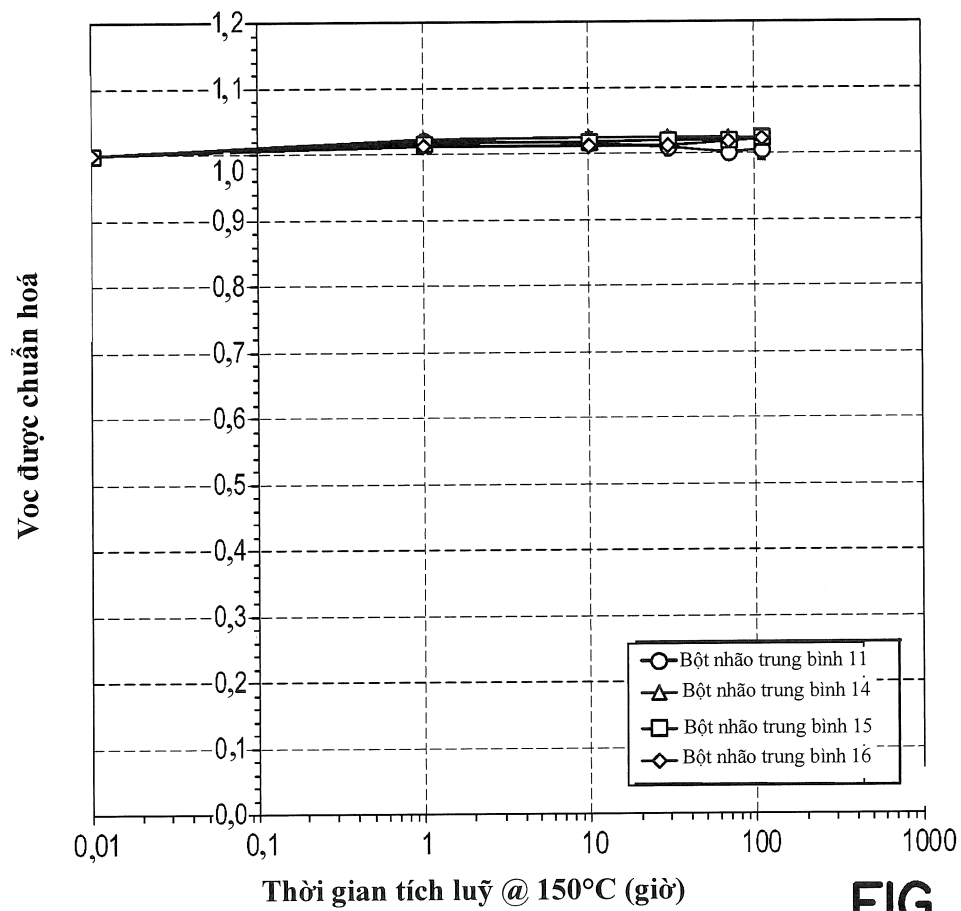


FIG. 16B

36/95

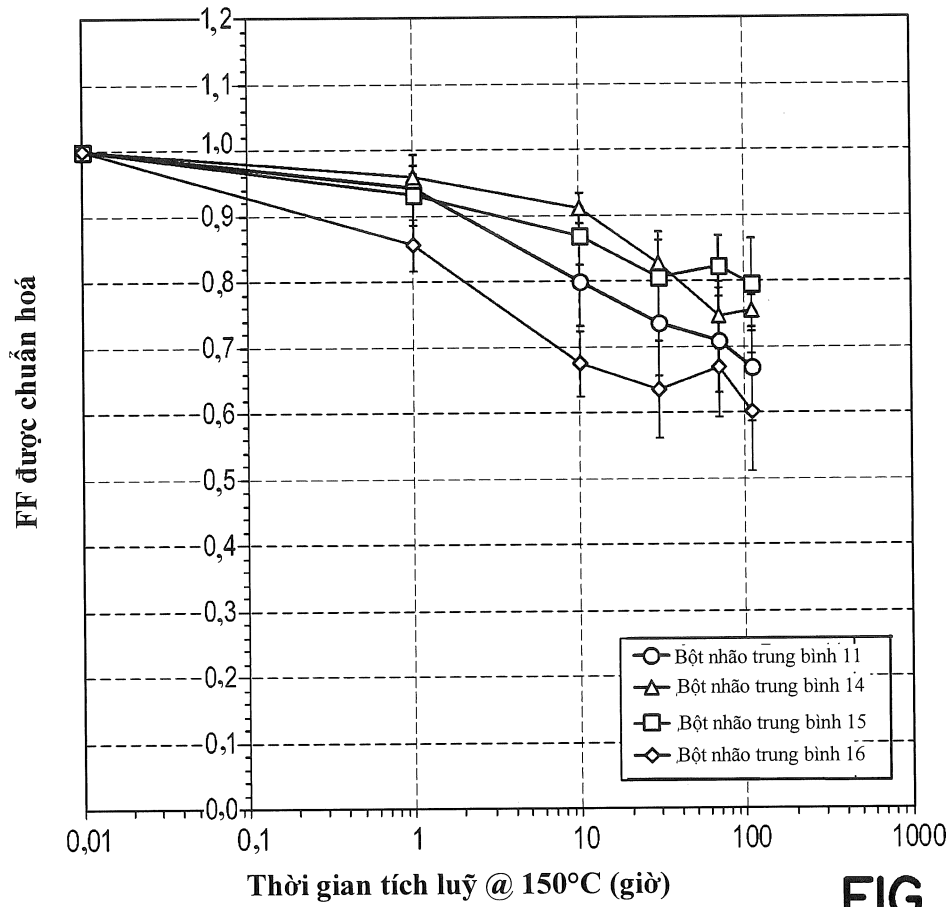


FIG. 16C

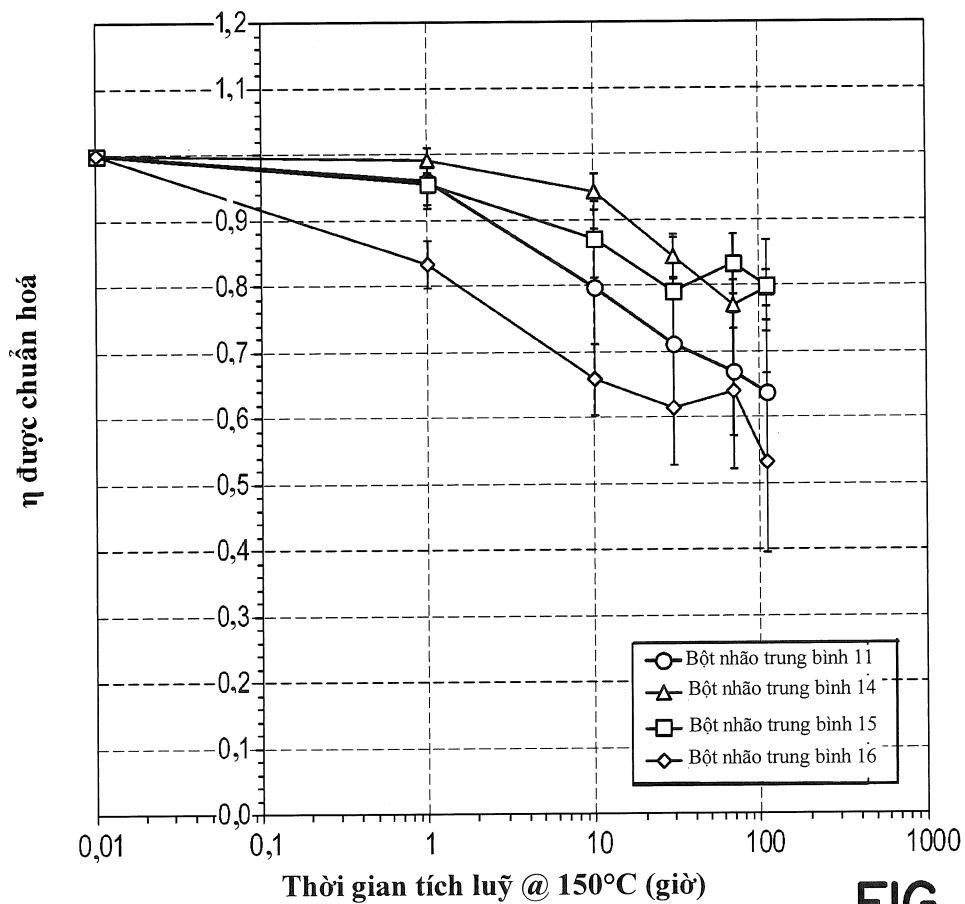


FIG. 16D

37/95

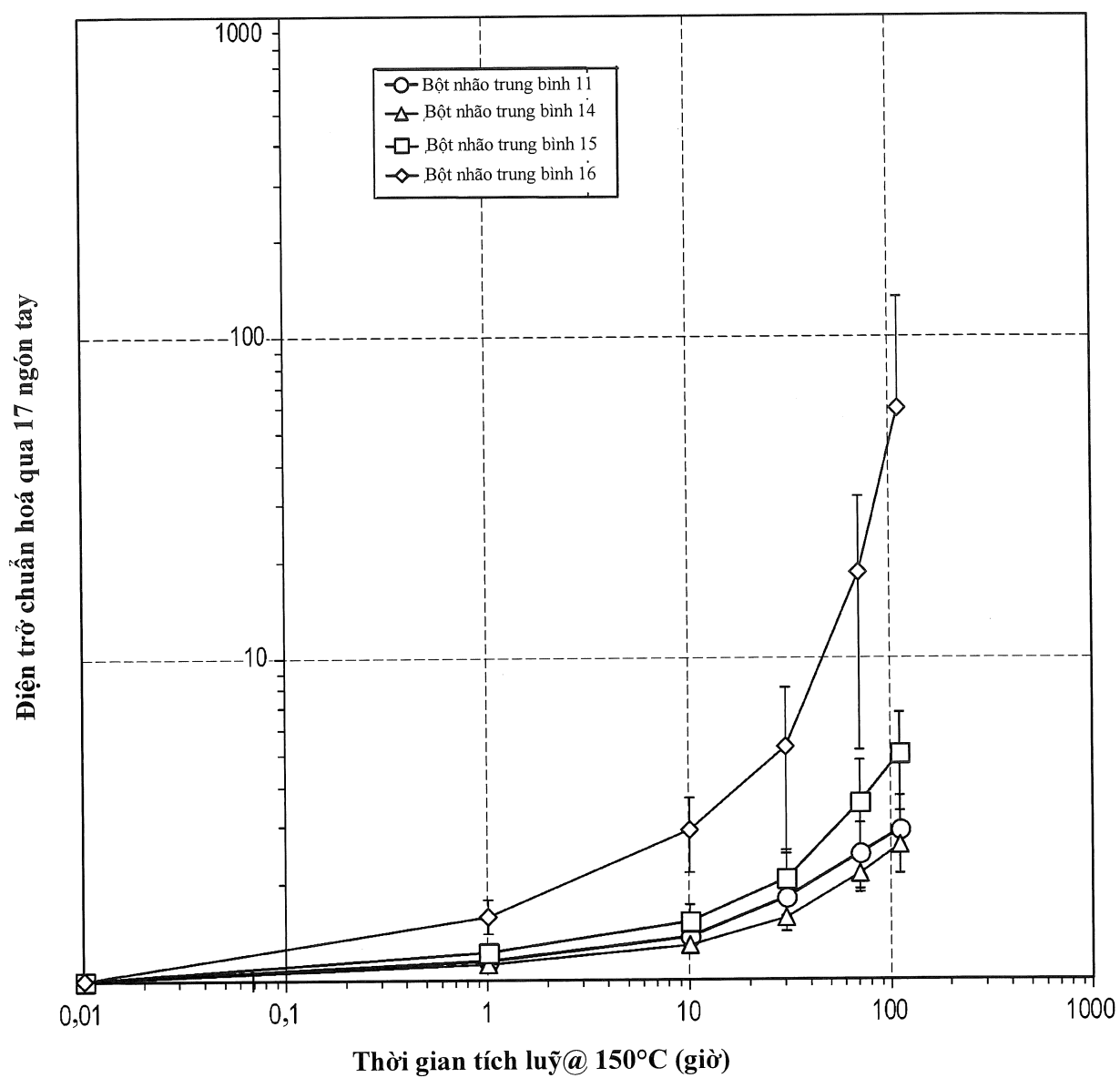


FIG. 16E

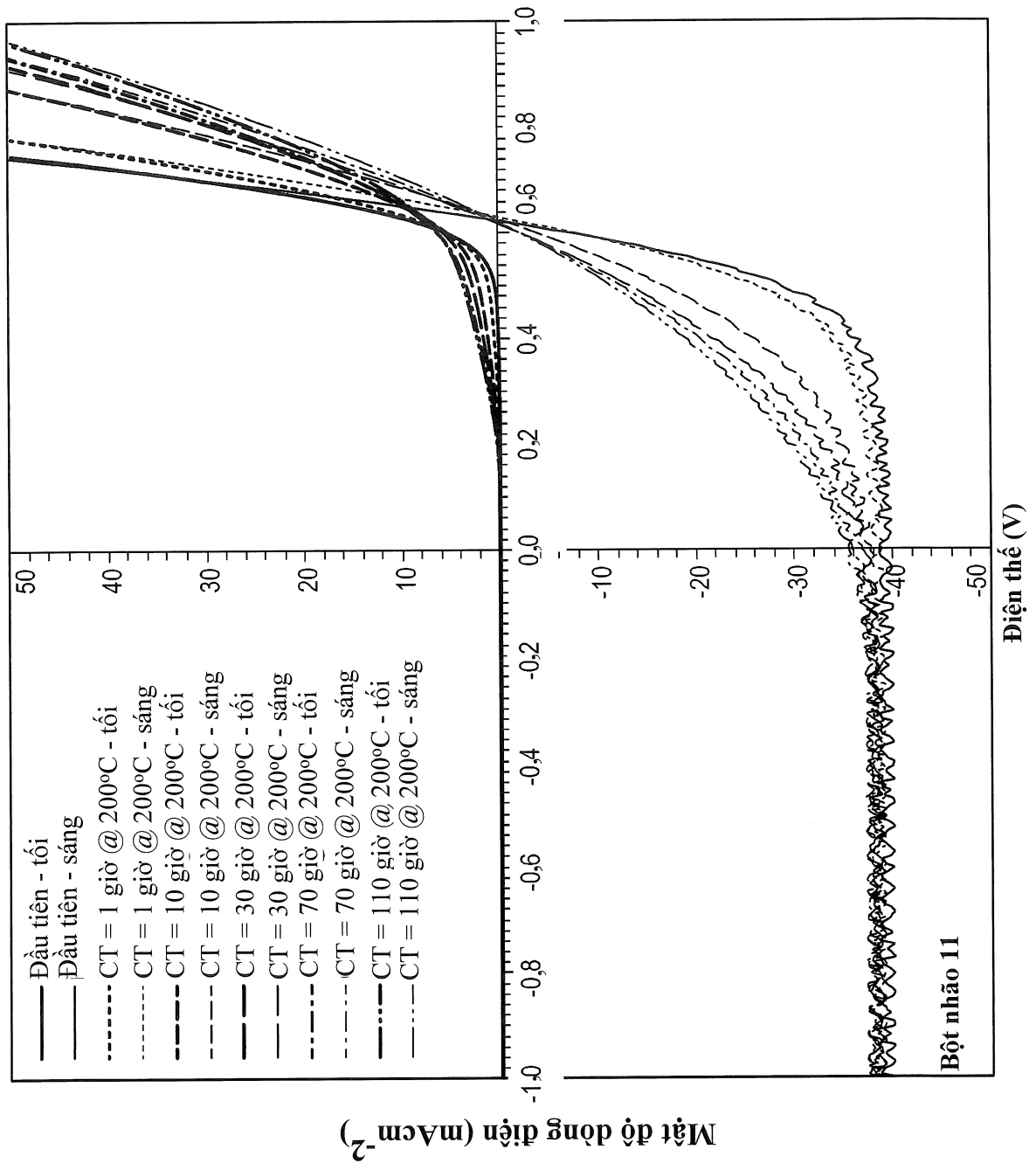


FIG. 17A

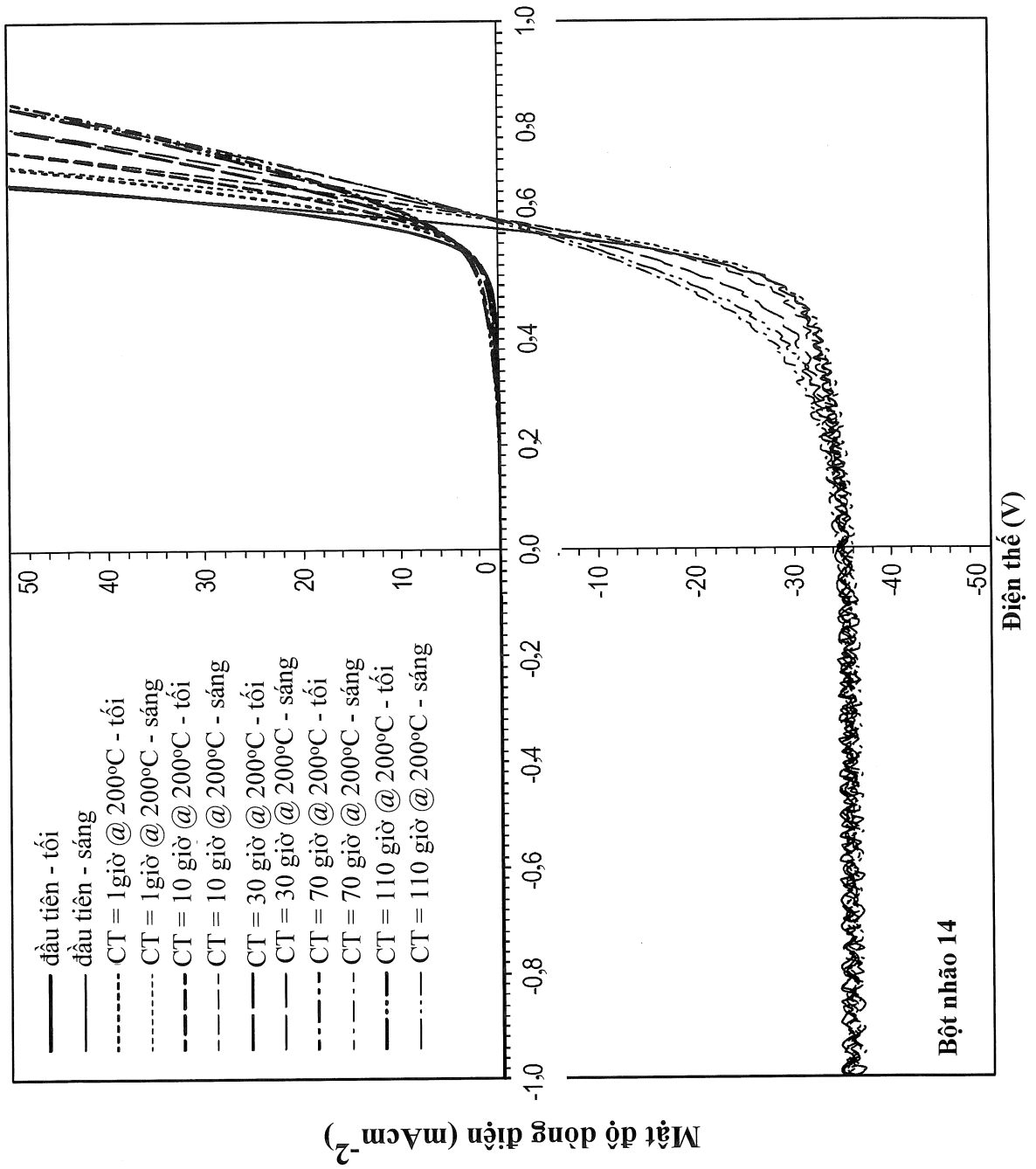


FIG. 17B

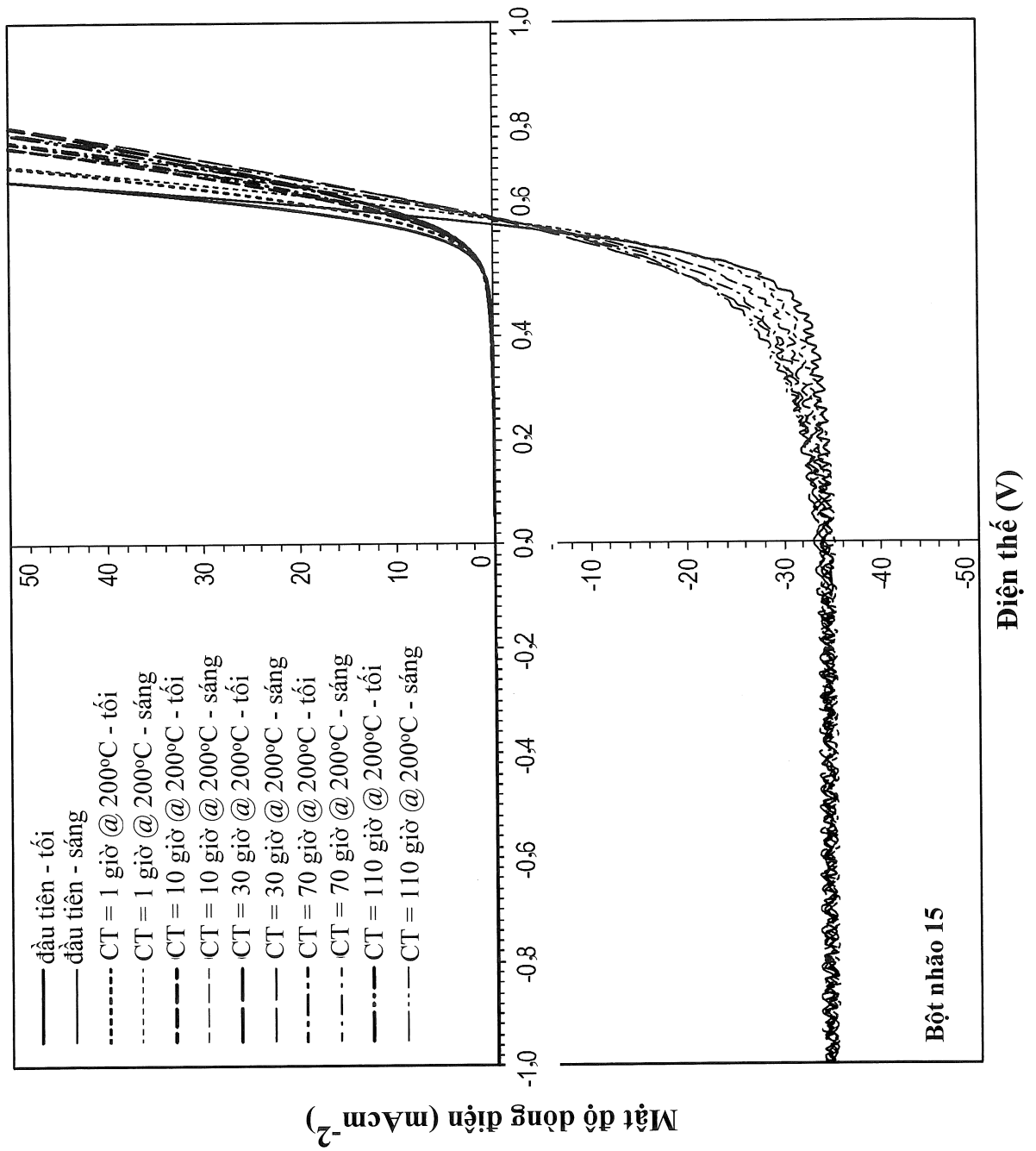


FIG. 17C

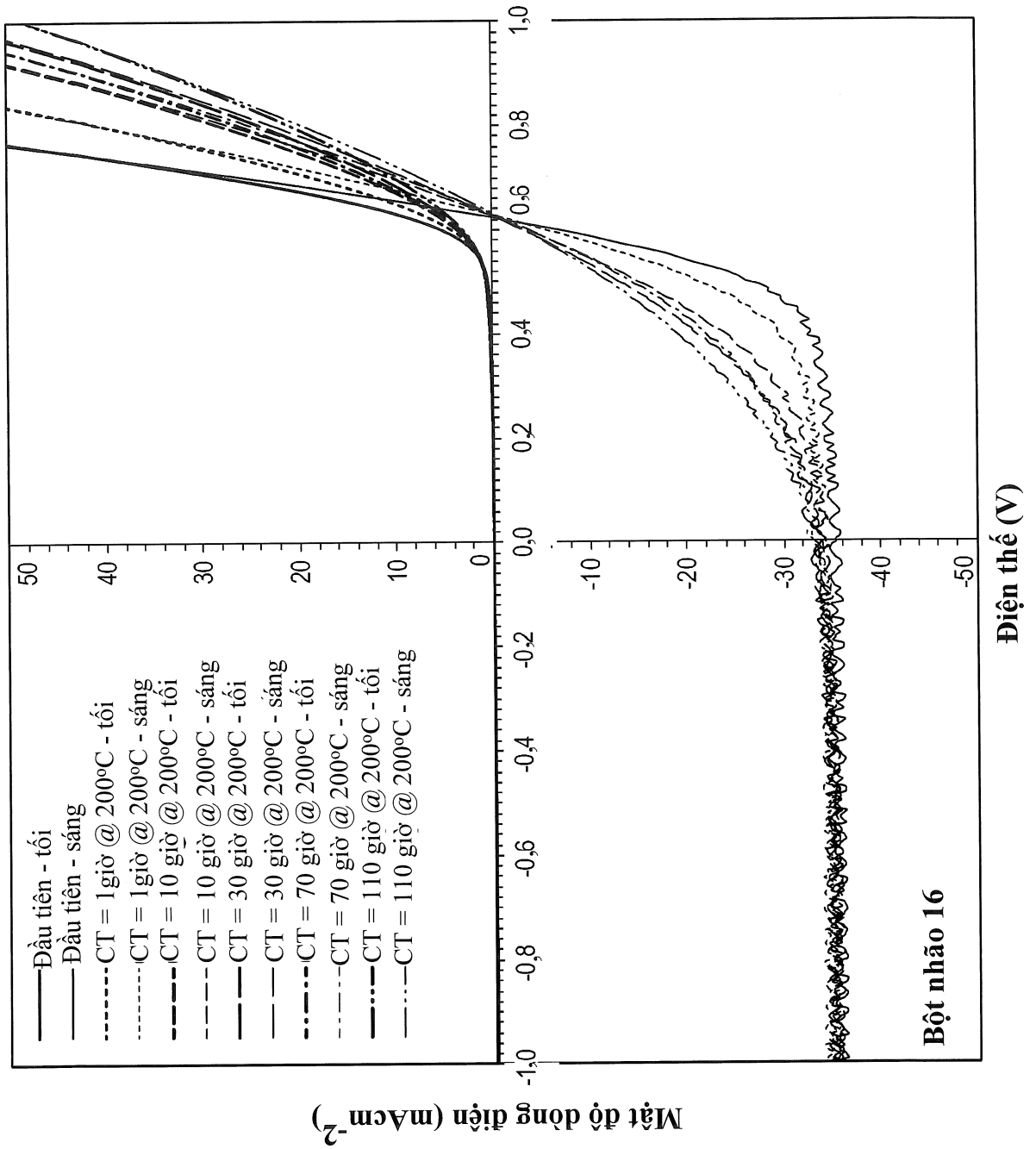


FIG. 17D

42/95

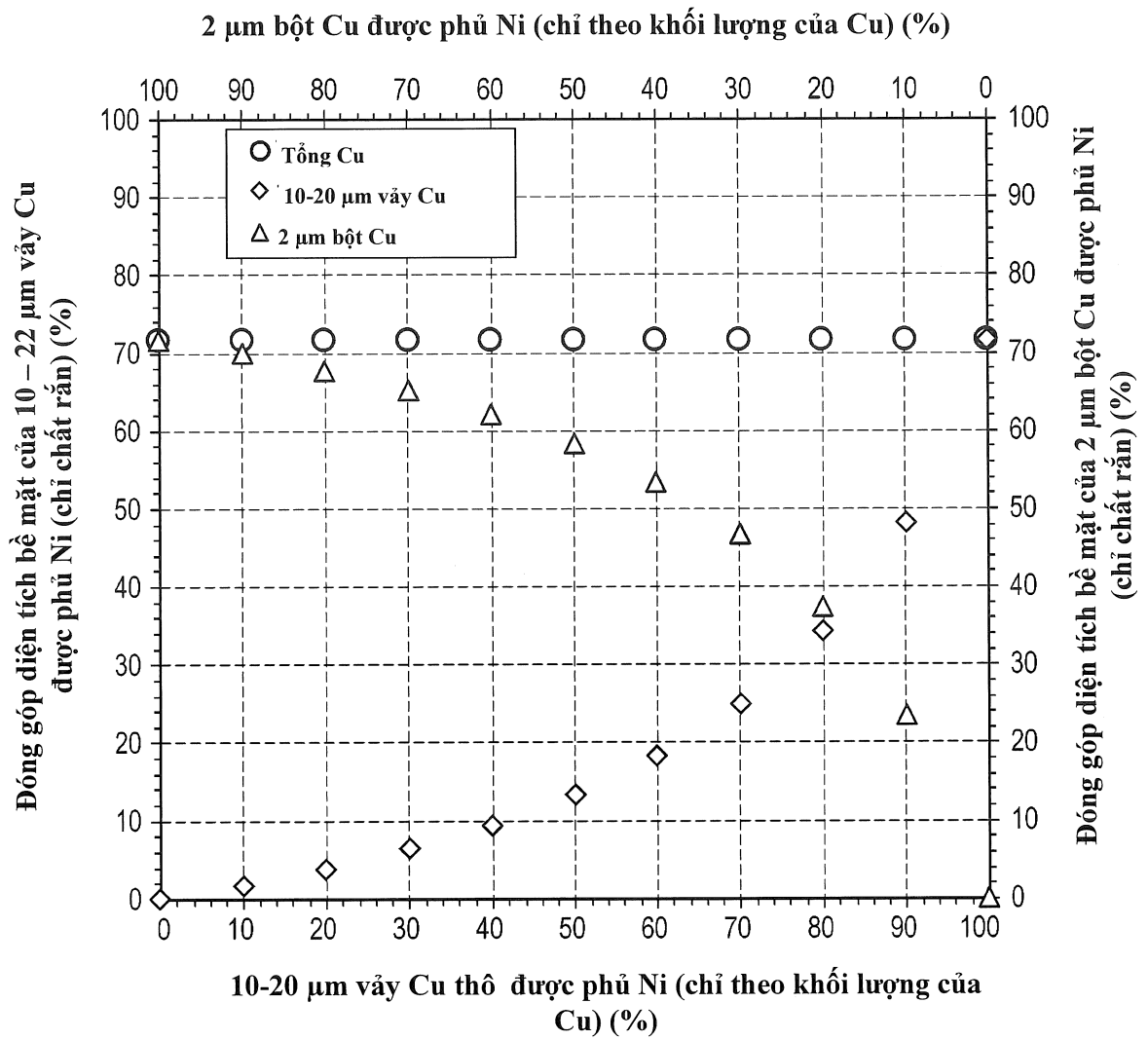


FIG. 18A

43/95

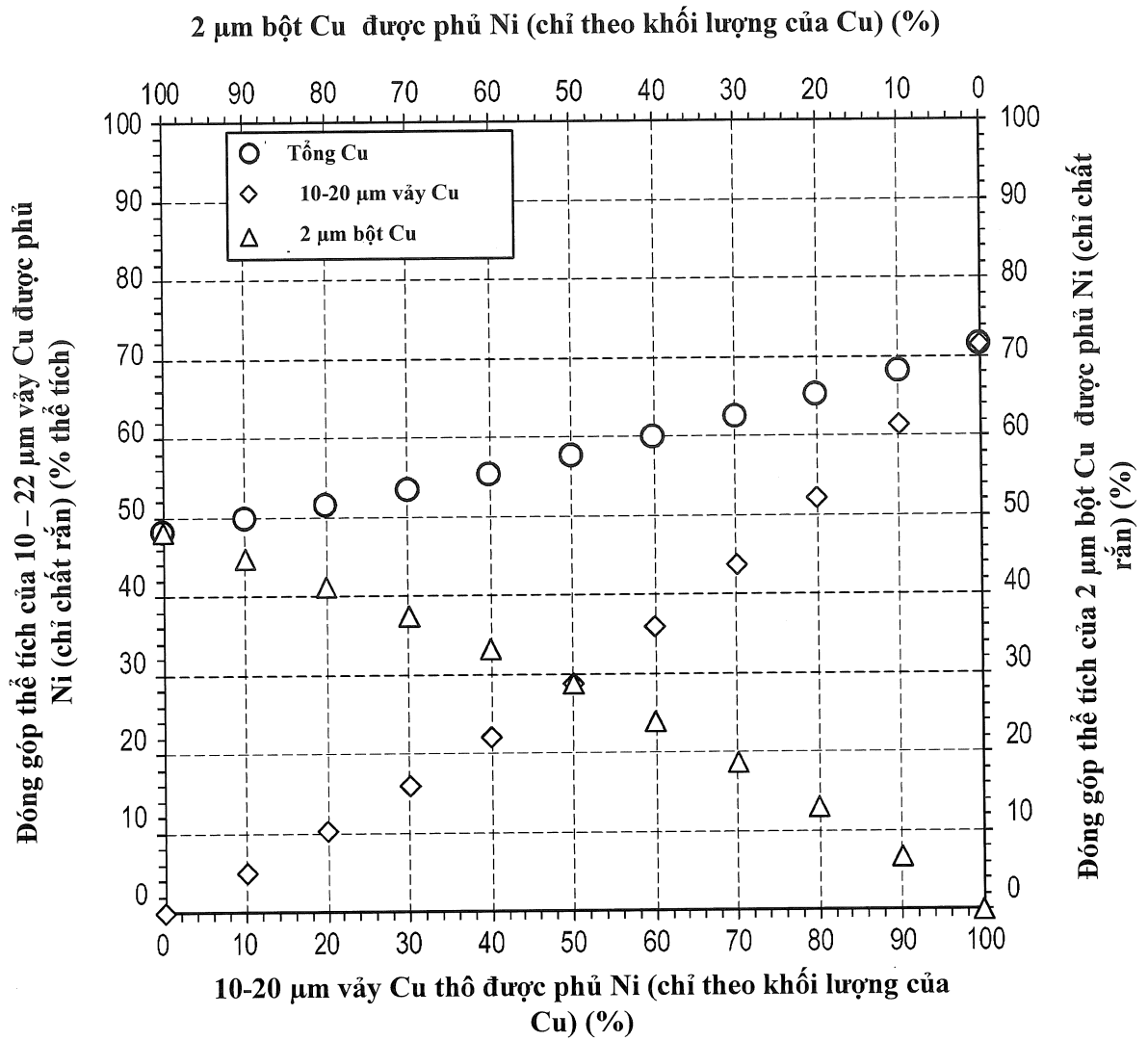


FIG. 18B

44/95

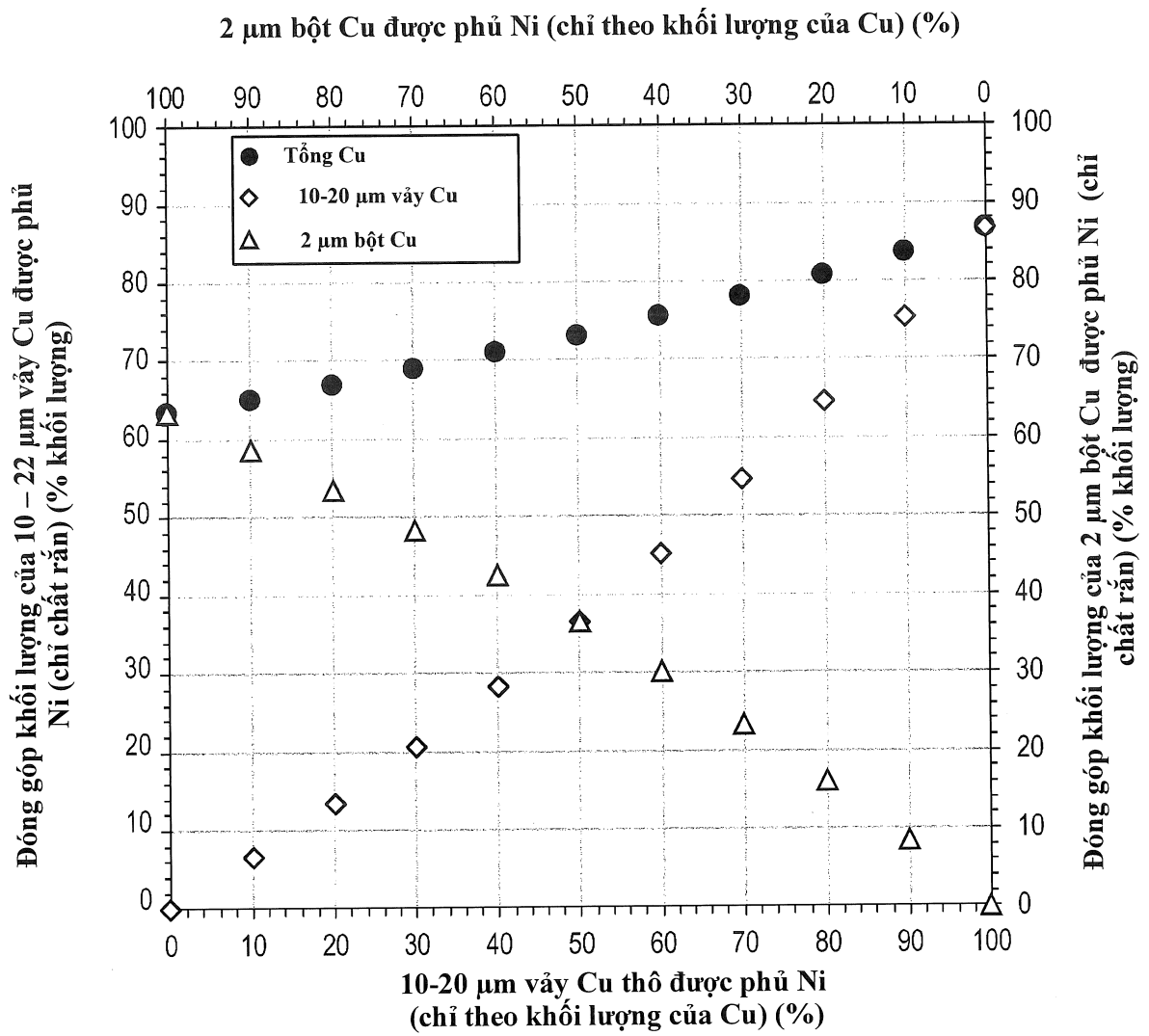


FIG. 18C

45/95

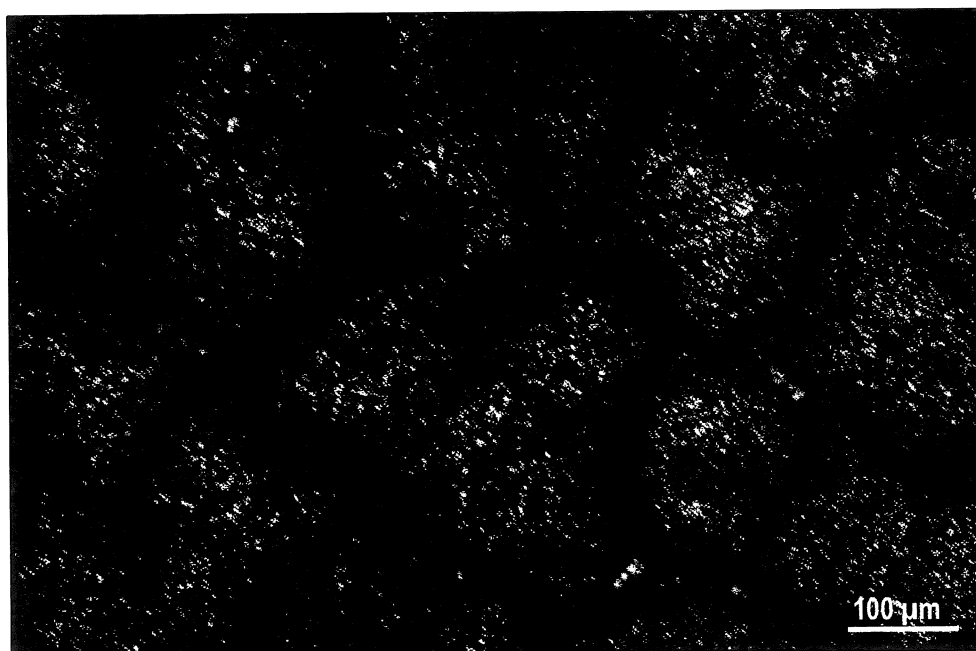


FIG. 18D



FIG. 18E



46/95

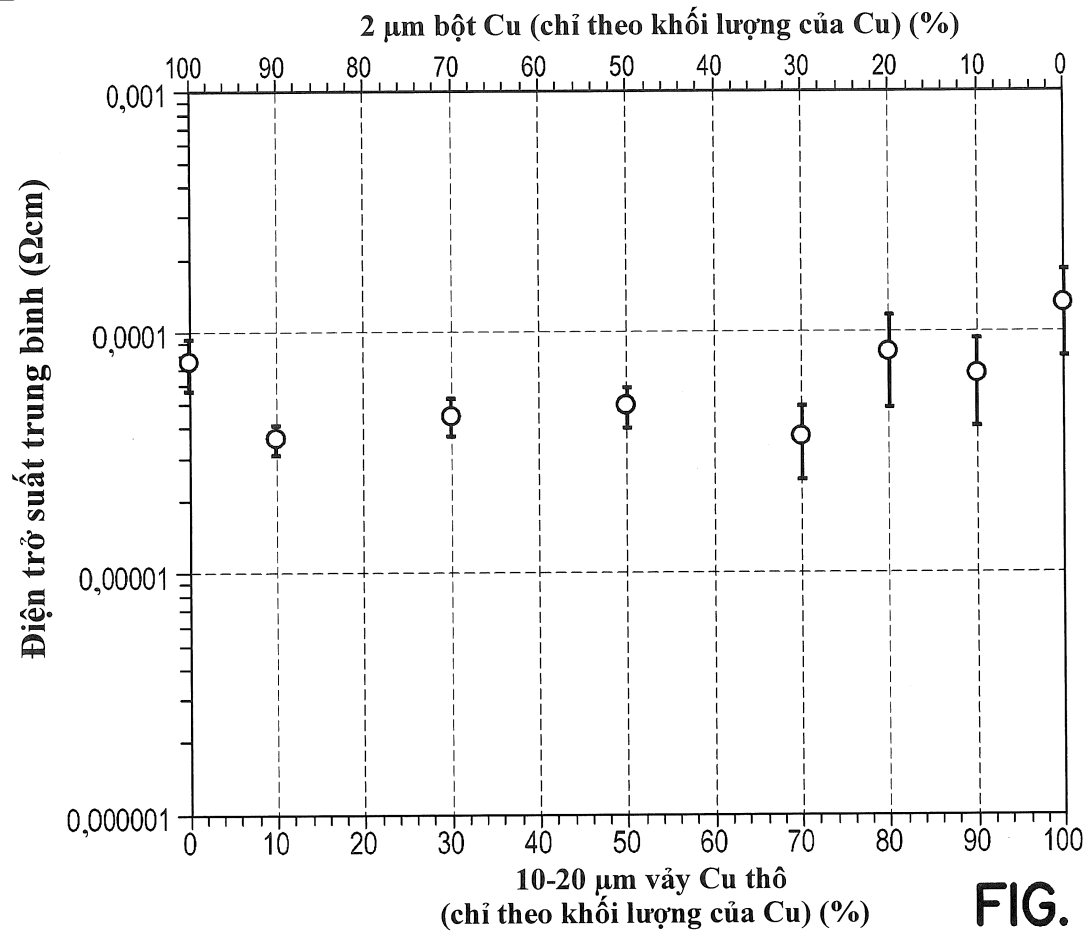


FIG. 19A

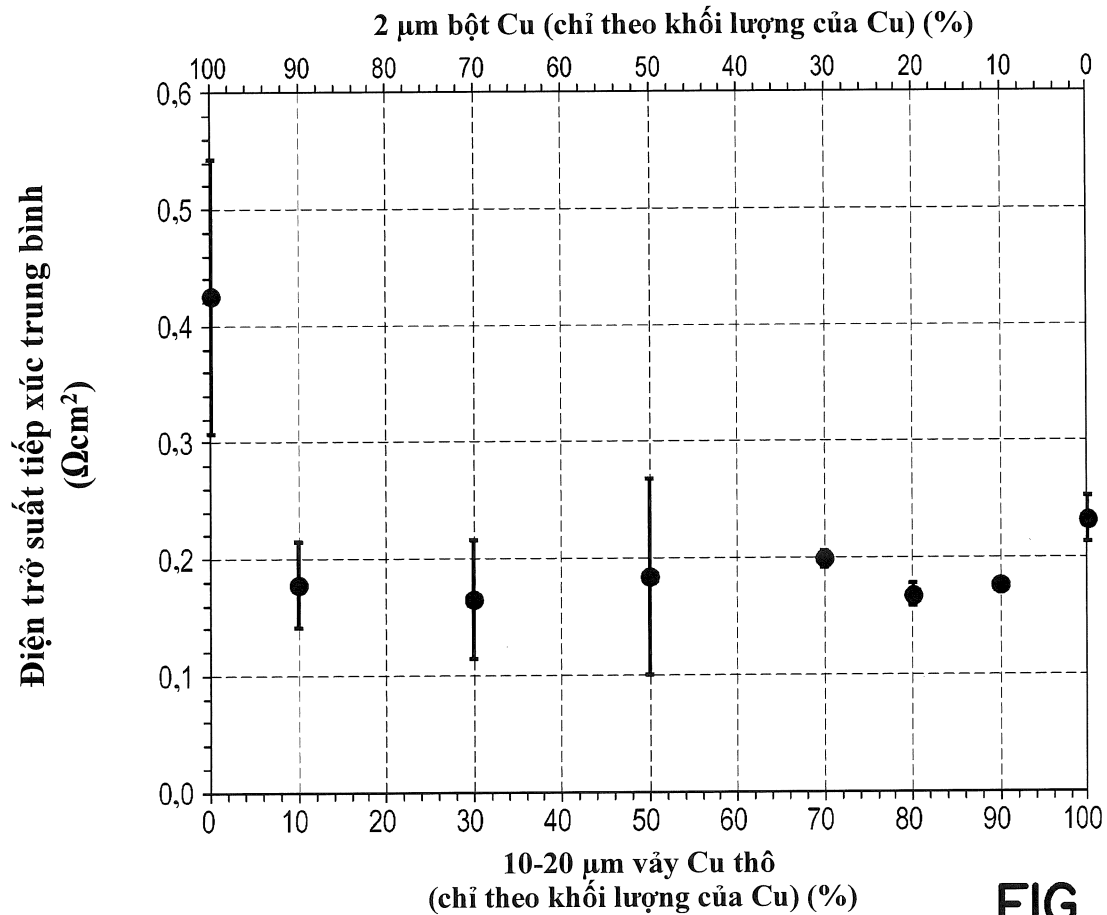


FIG. 19B

47/95

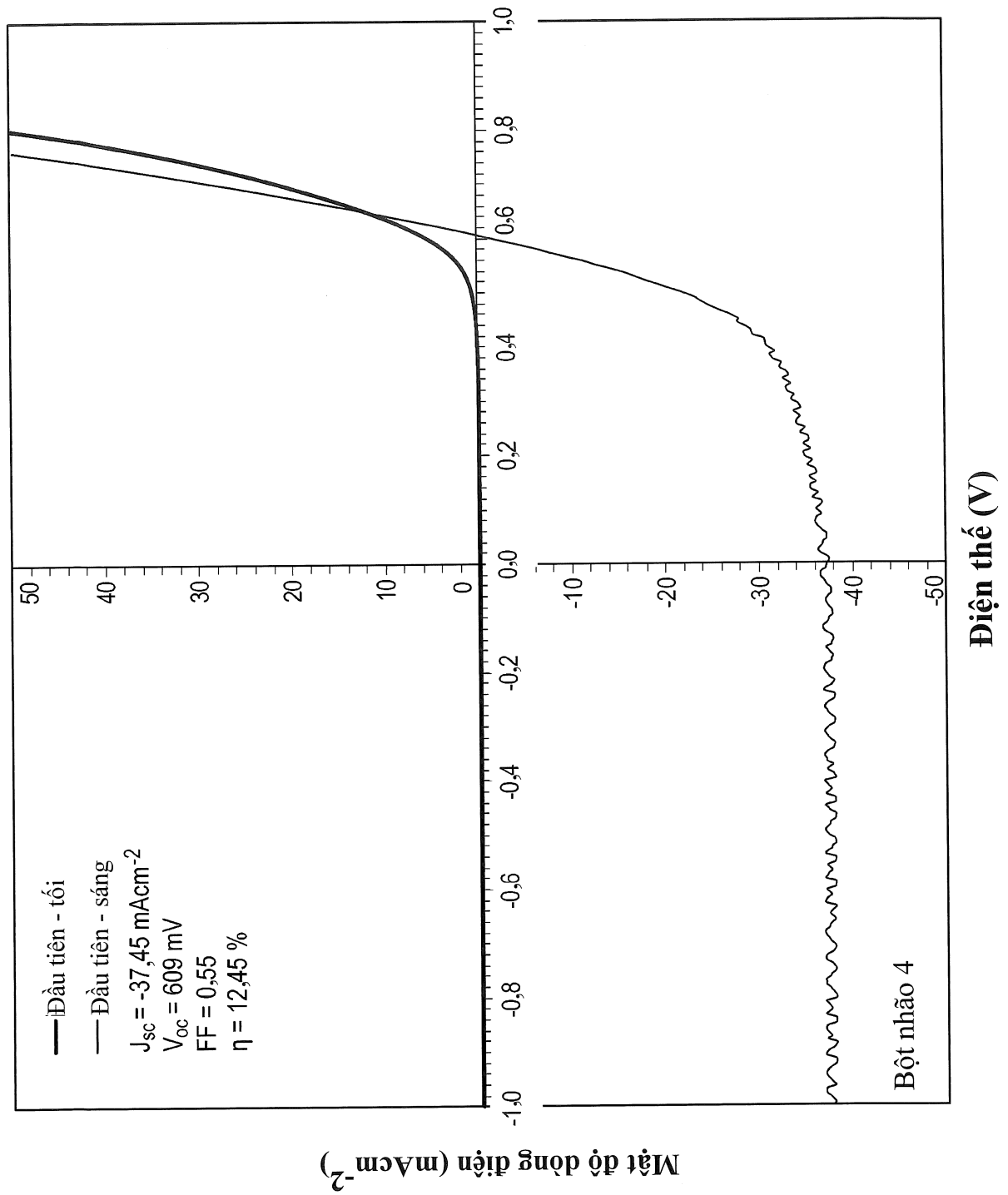


FIG. 20A

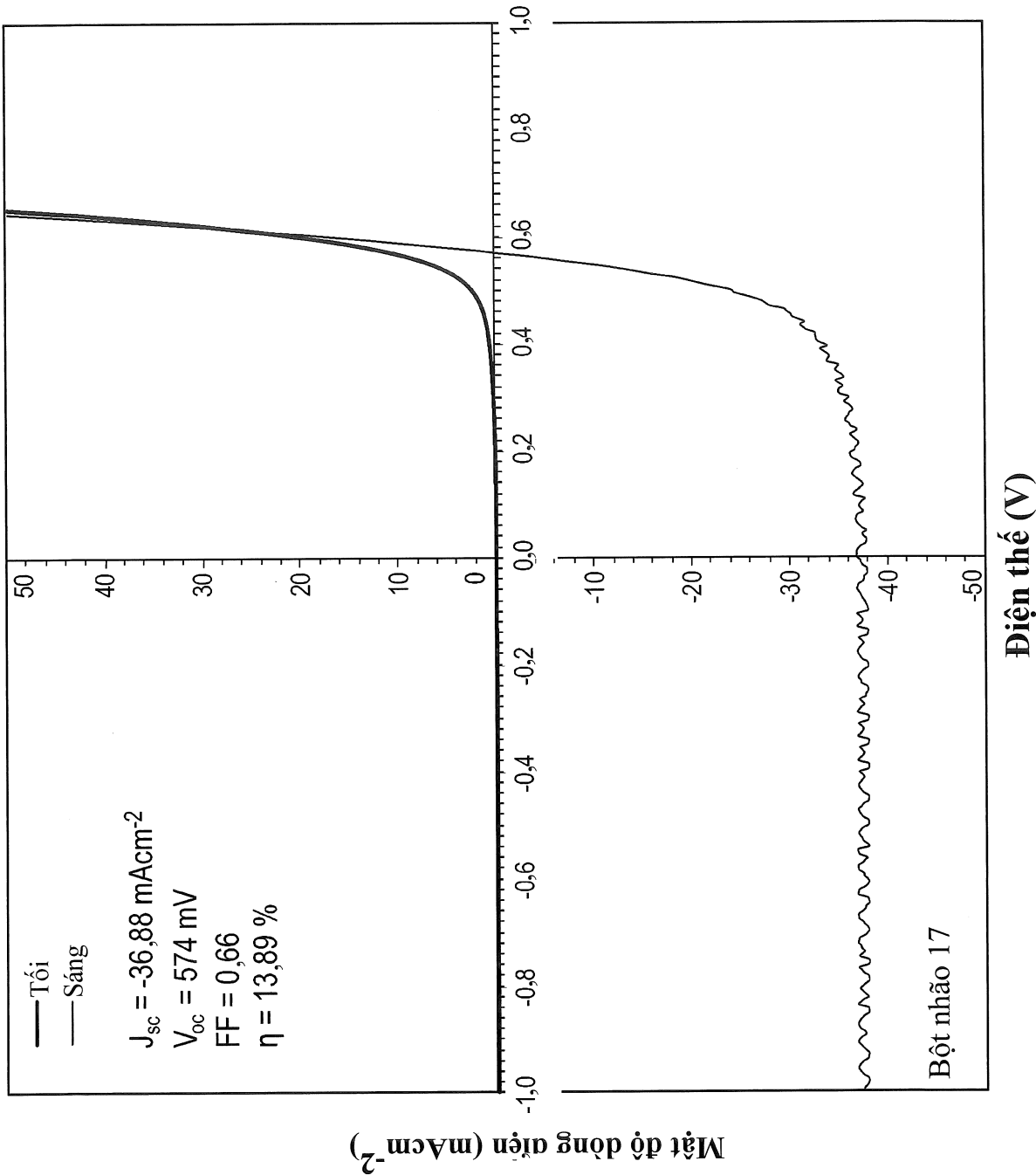


FIG. 20B



49/95

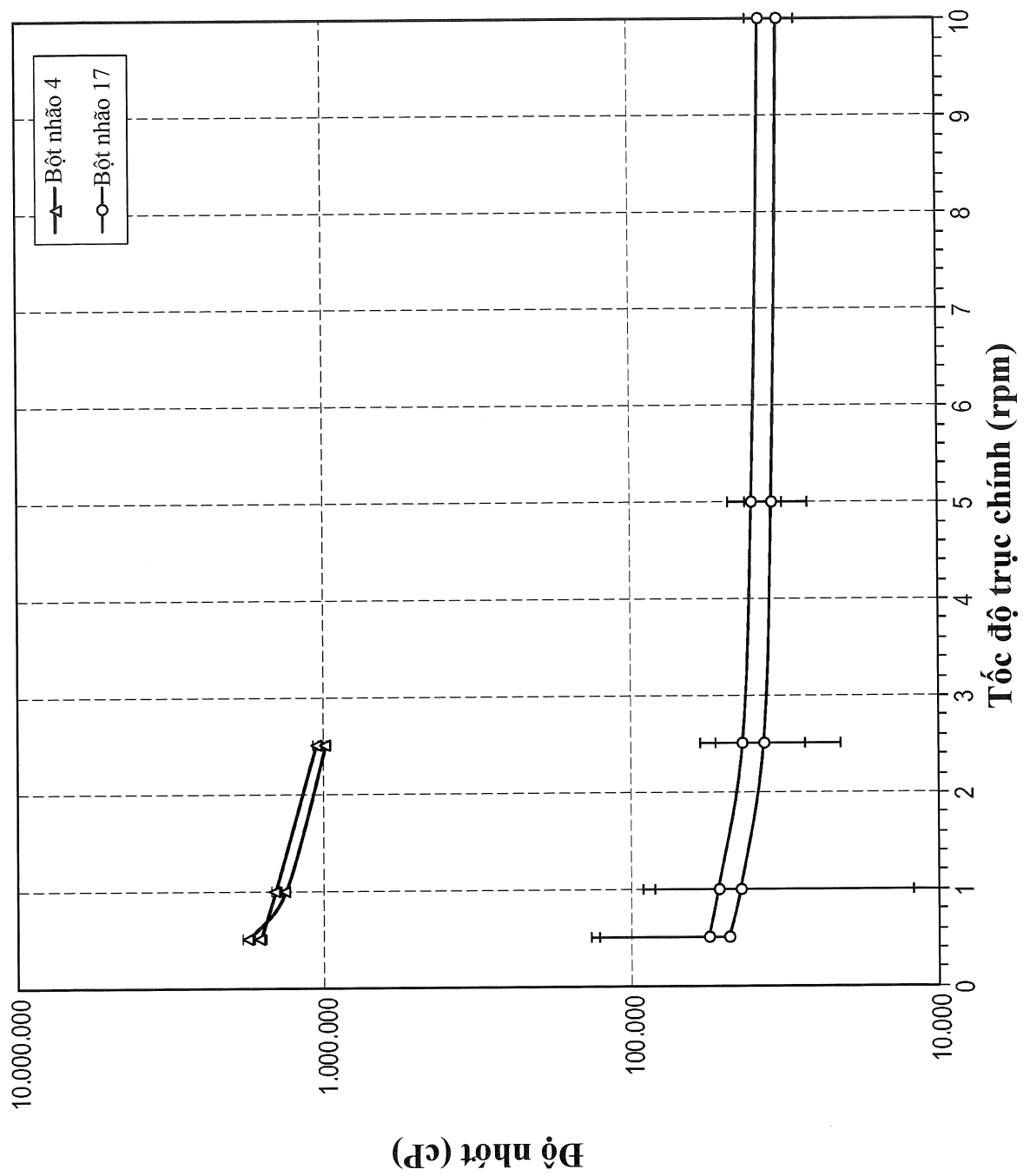


FIG. 20C

50/95



FIG. 20E



FIG. 20D

51/95

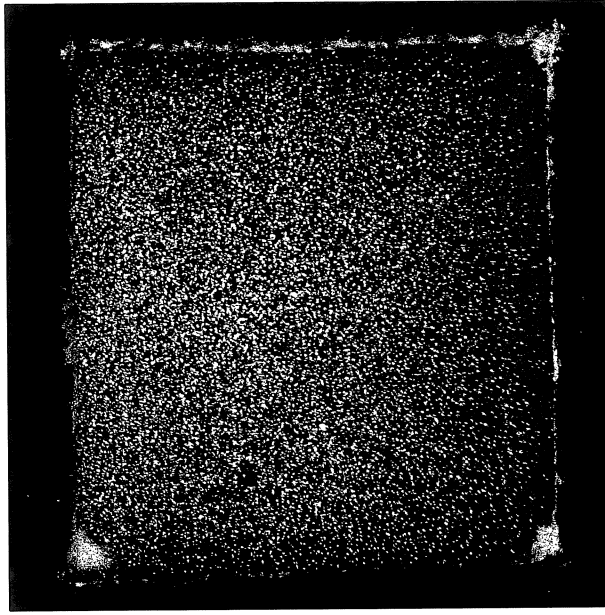


FIG. 21C

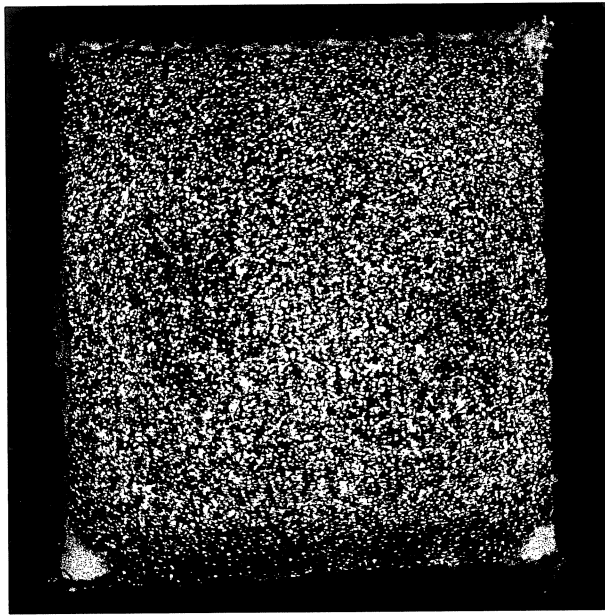


FIG. 21B

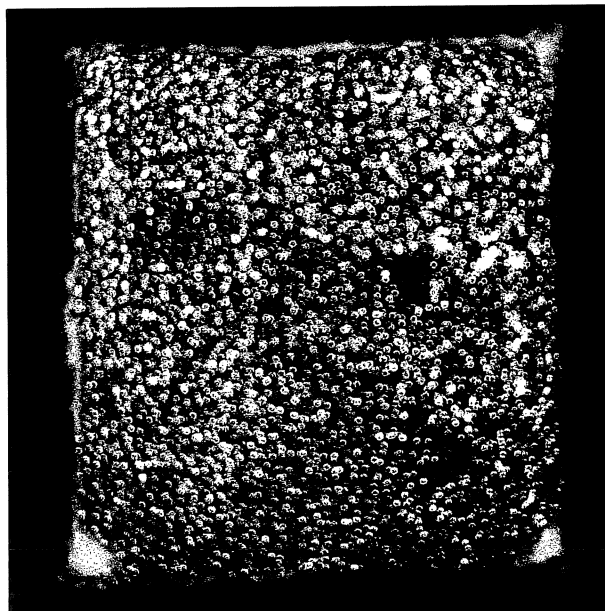


FIG. 21A

52/95

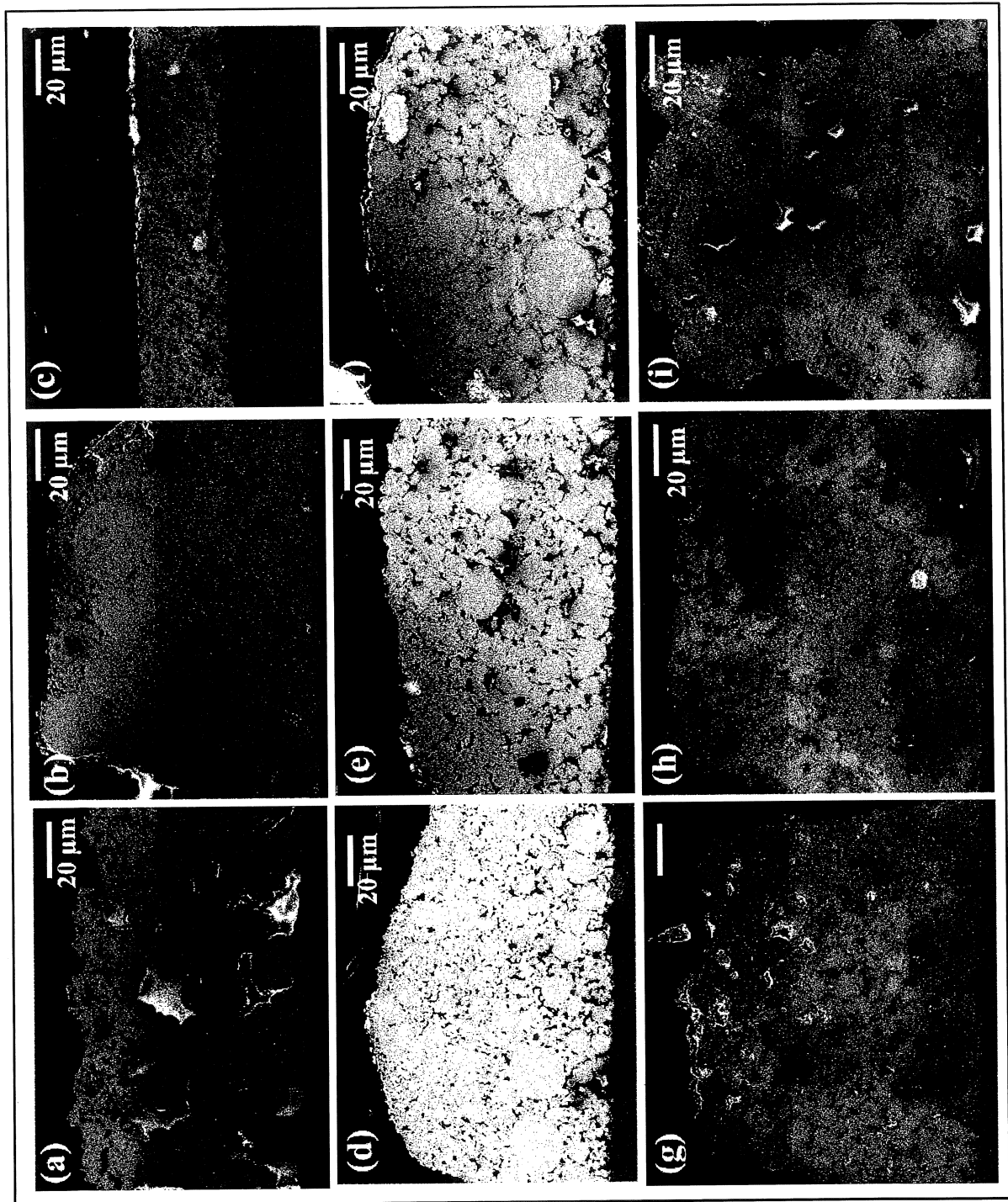


FIG. 22

53/95

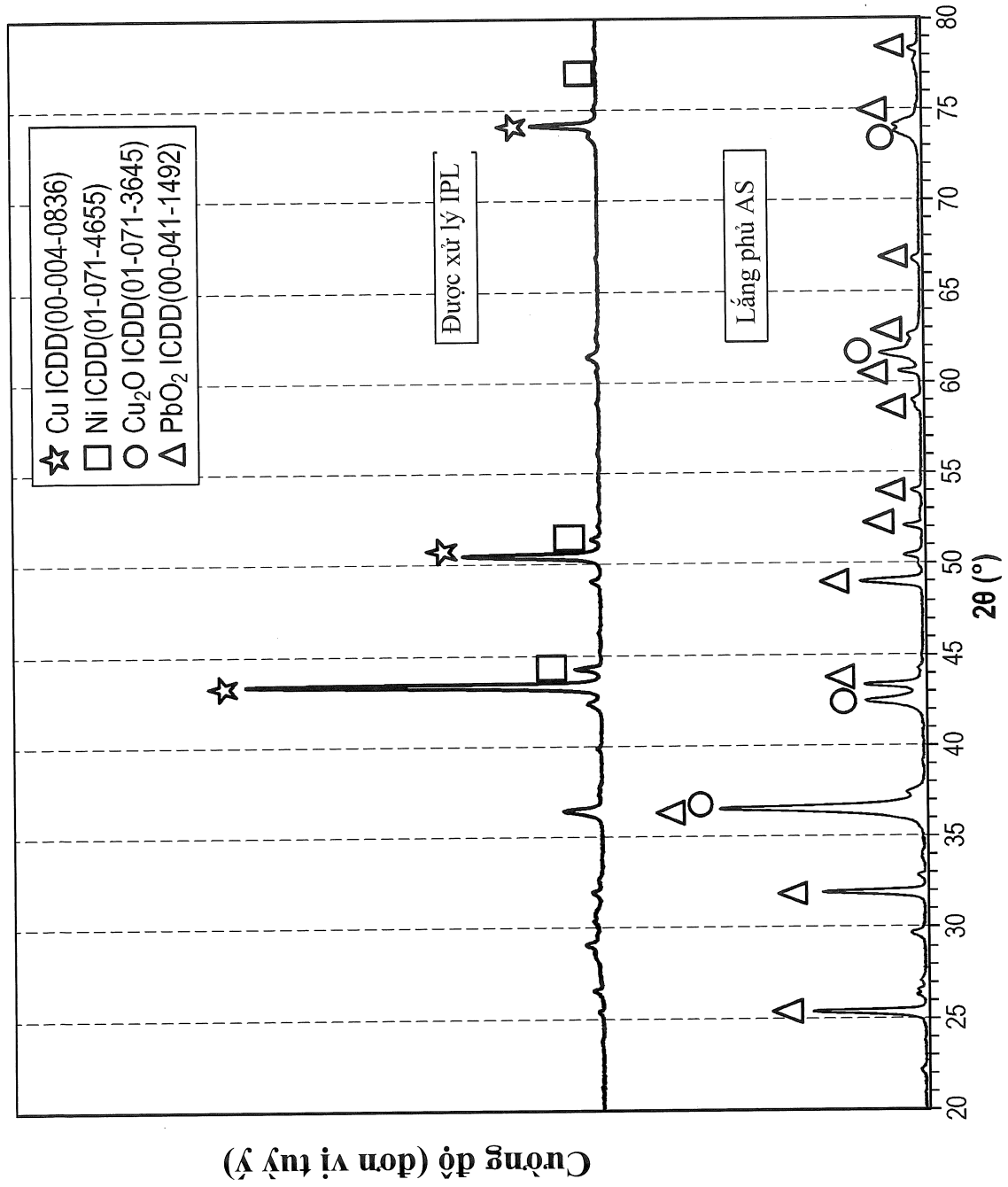


FIG. 23

54/95

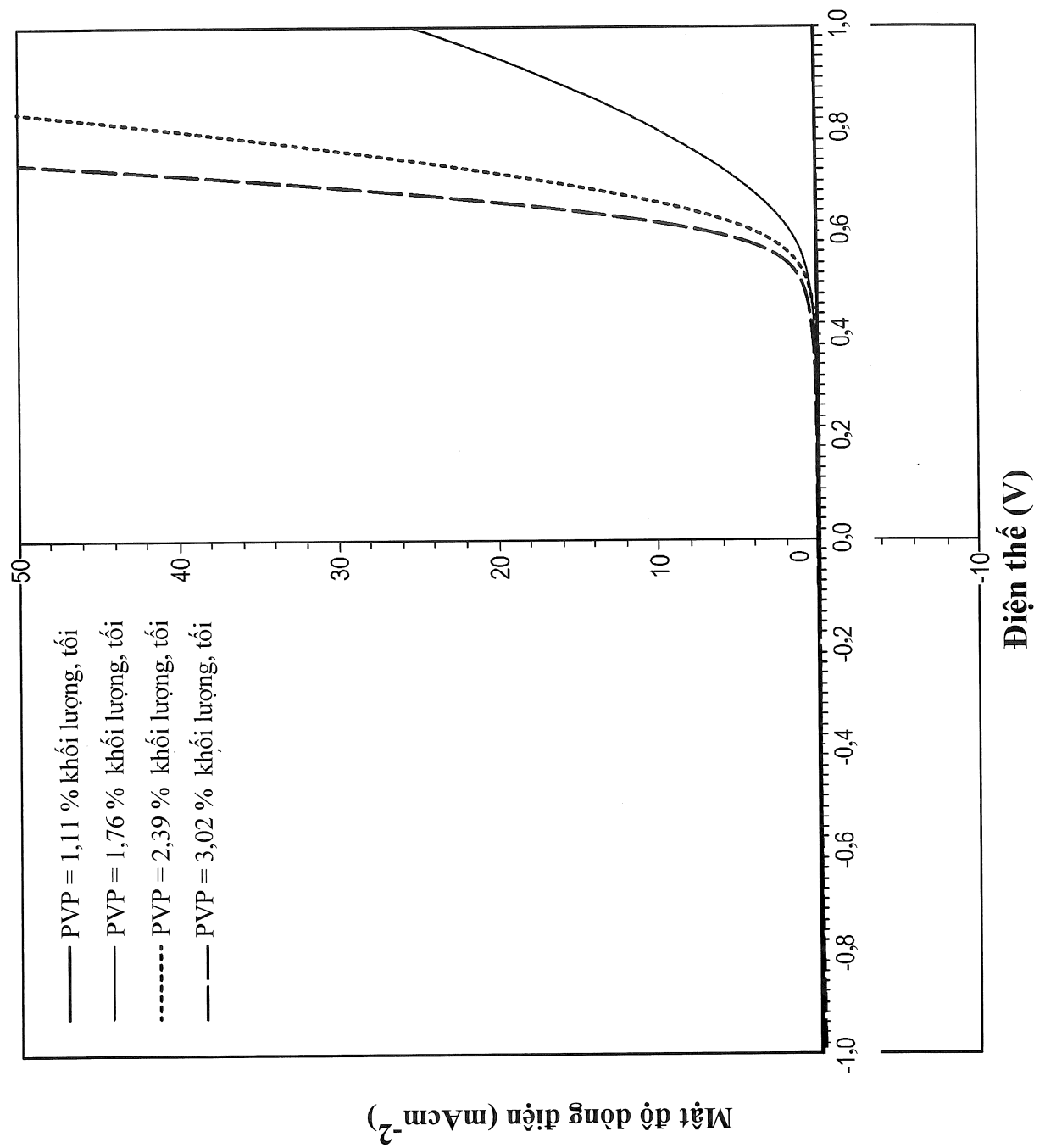


FIG. 24A

55/95

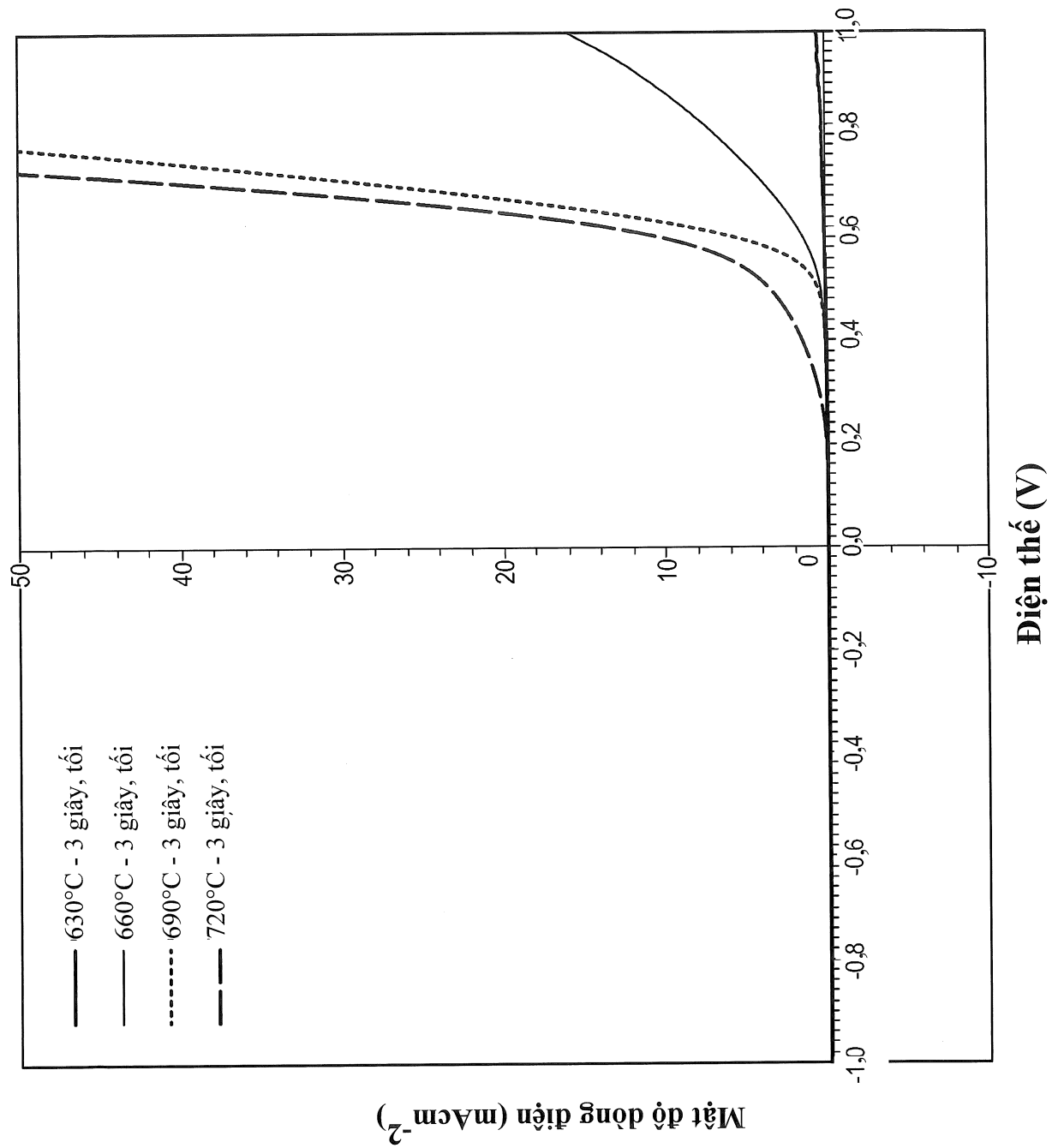


FIG. 24B

56/95

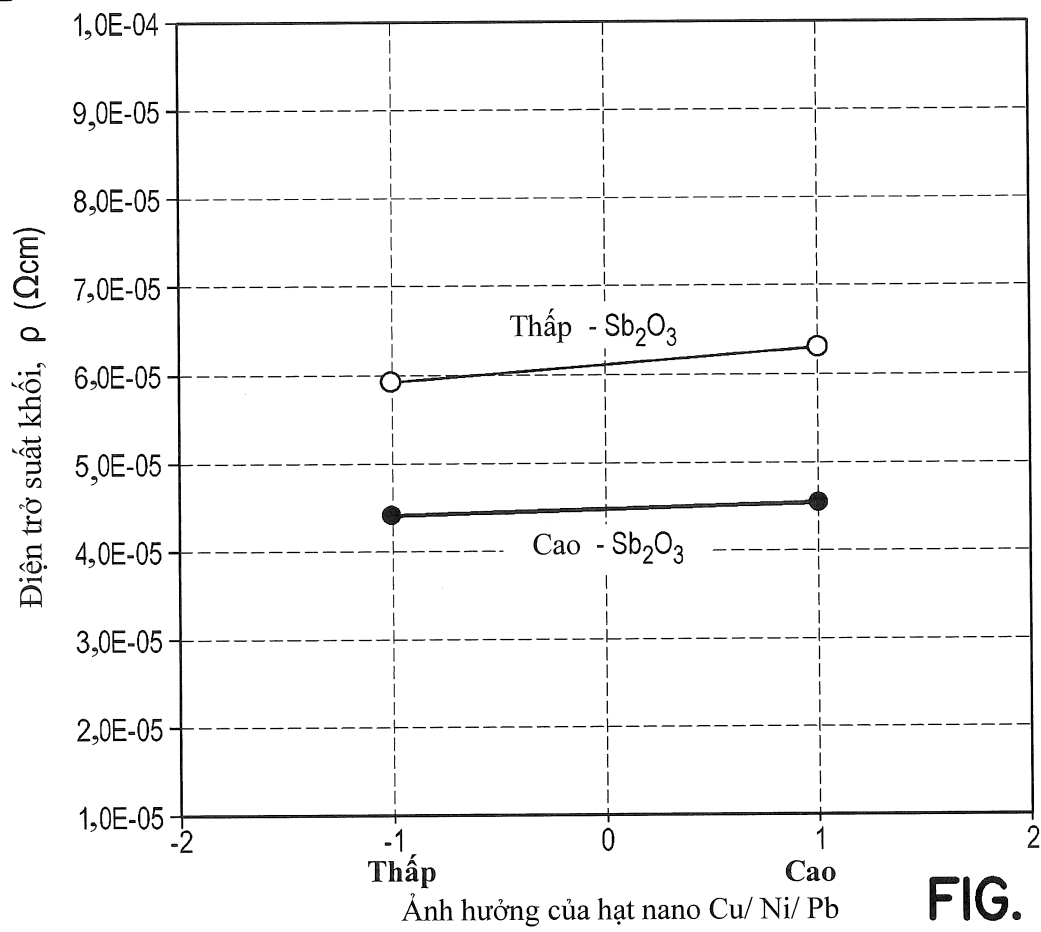


FIG. 25A

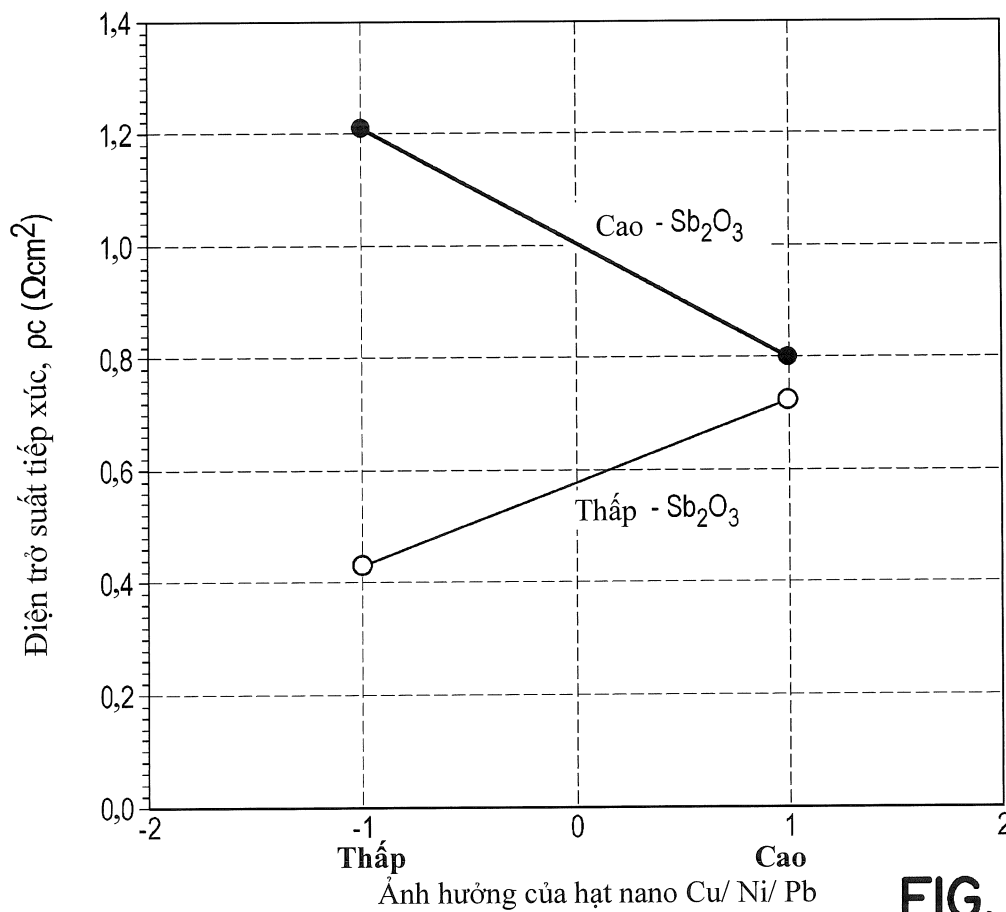


FIG. 25B

57/95

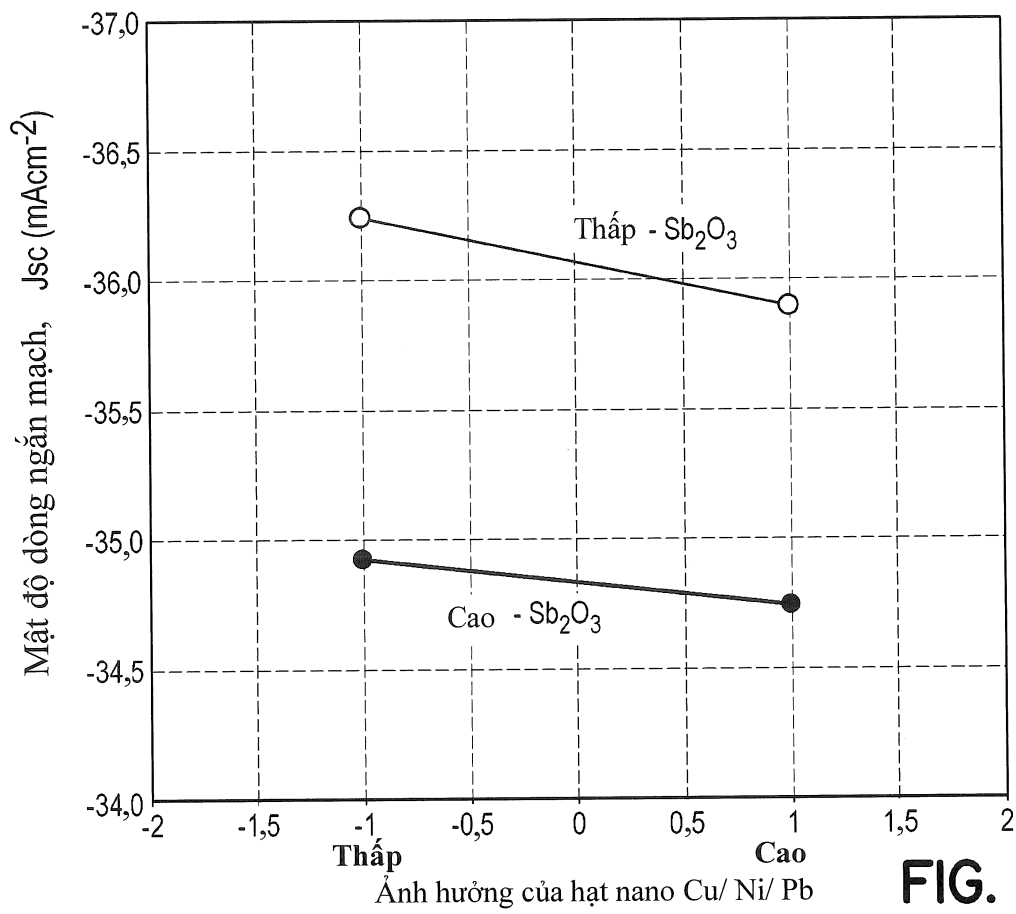


FIG. 25C

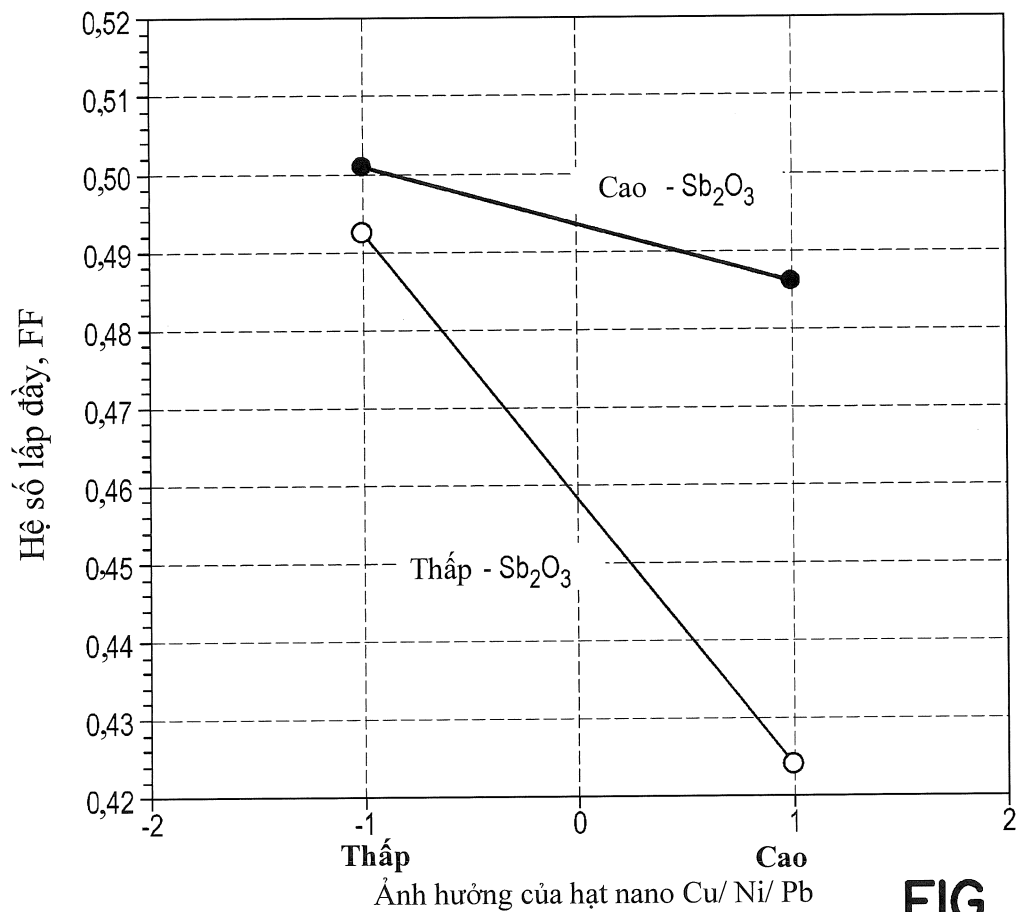


FIG. 25D

58/95

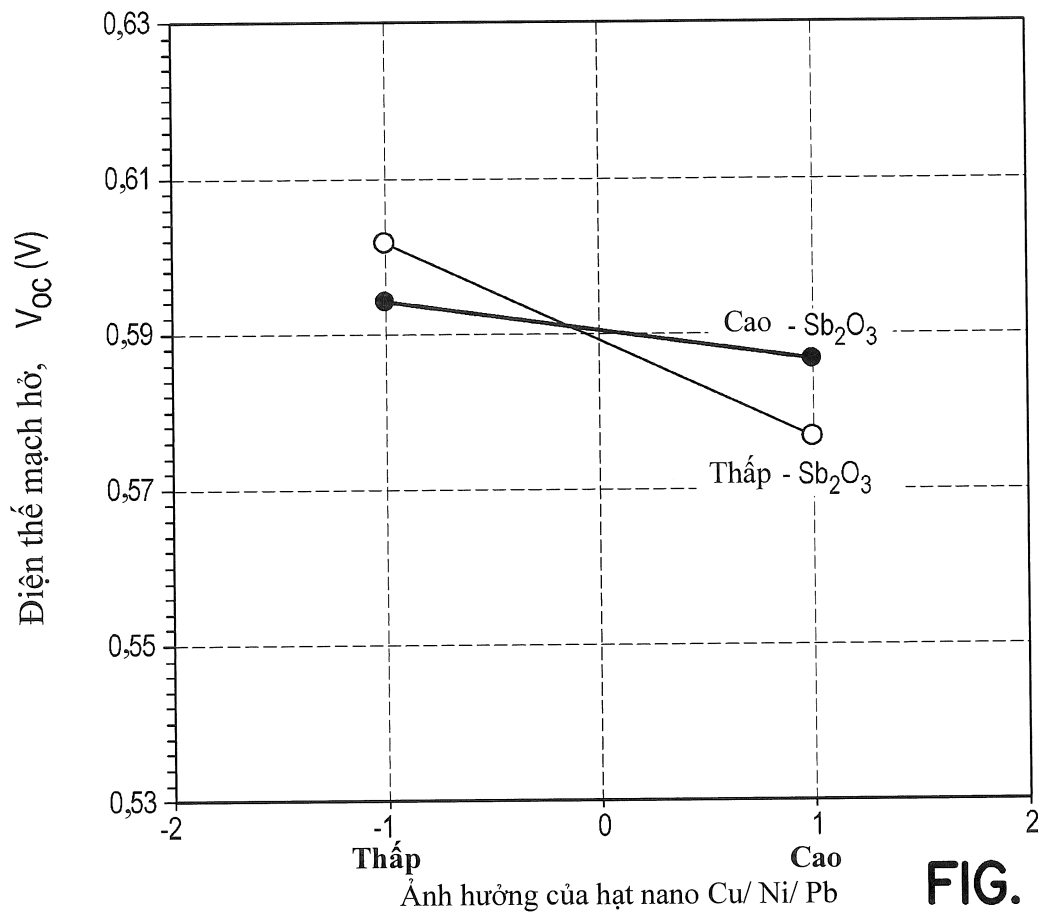


FIG. 25E

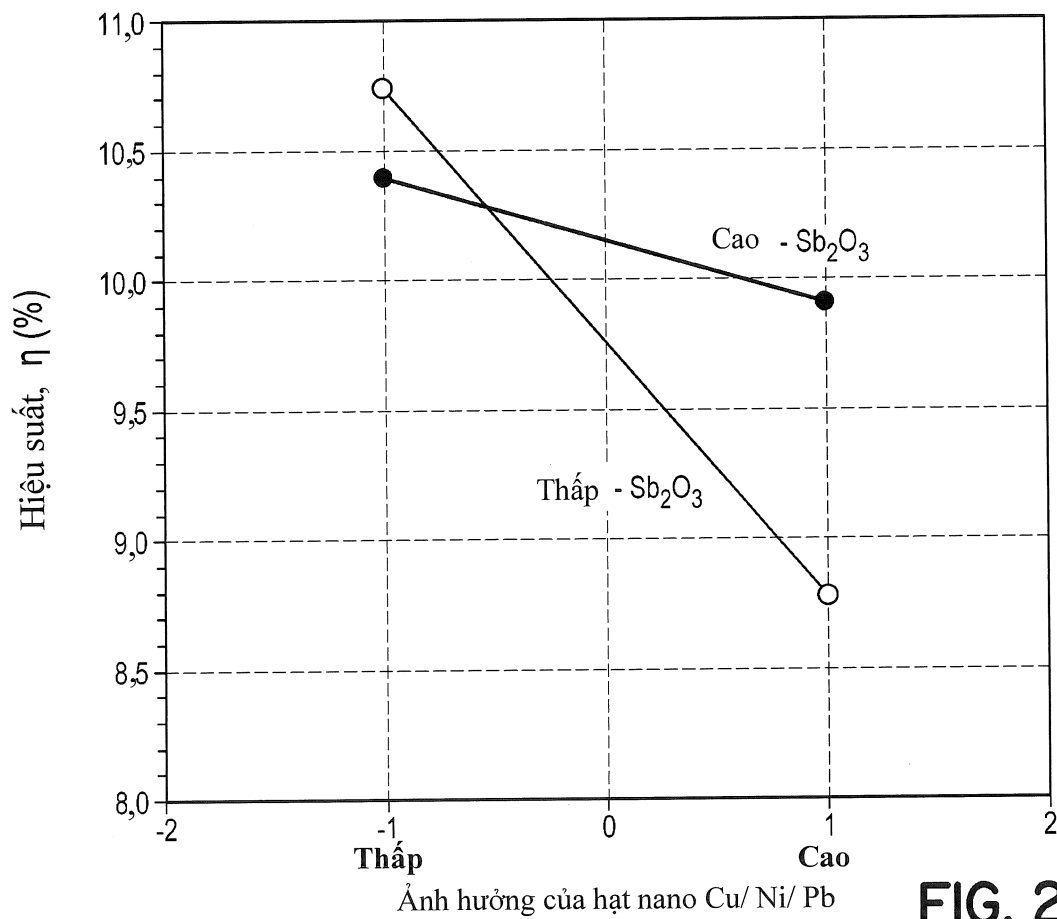


FIG. 25F

59/95

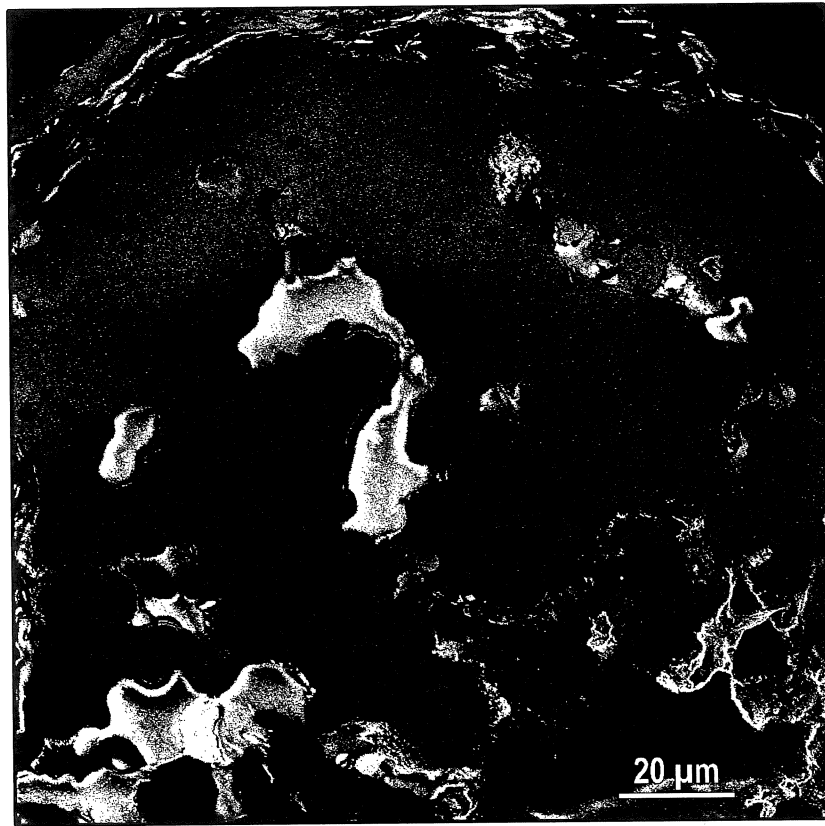


FIG. 26A

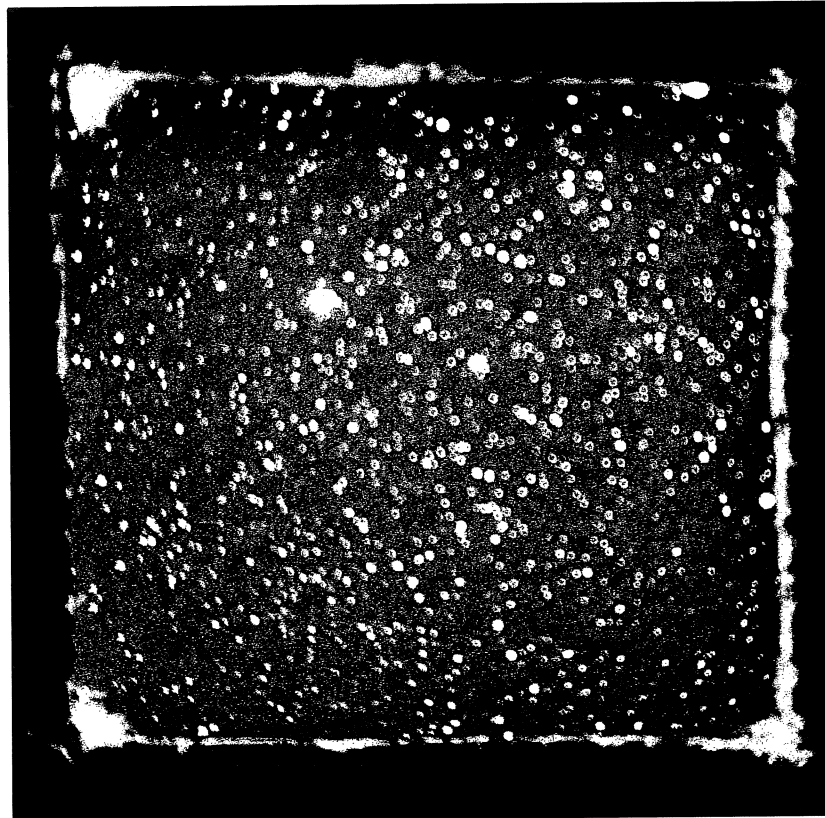


FIG. 26B

60/95

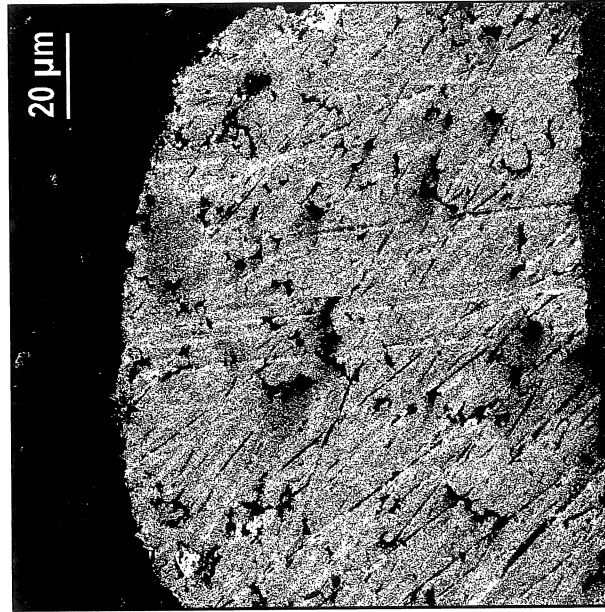


FIG. 27C

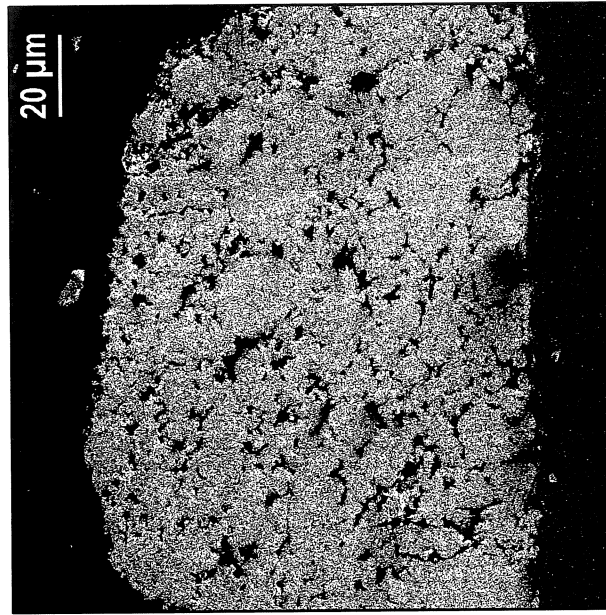


FIG. 27B

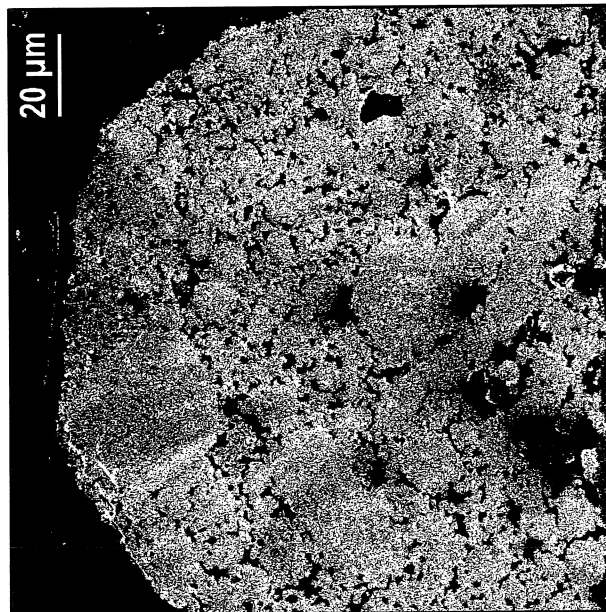


FIG. 27A

61/95

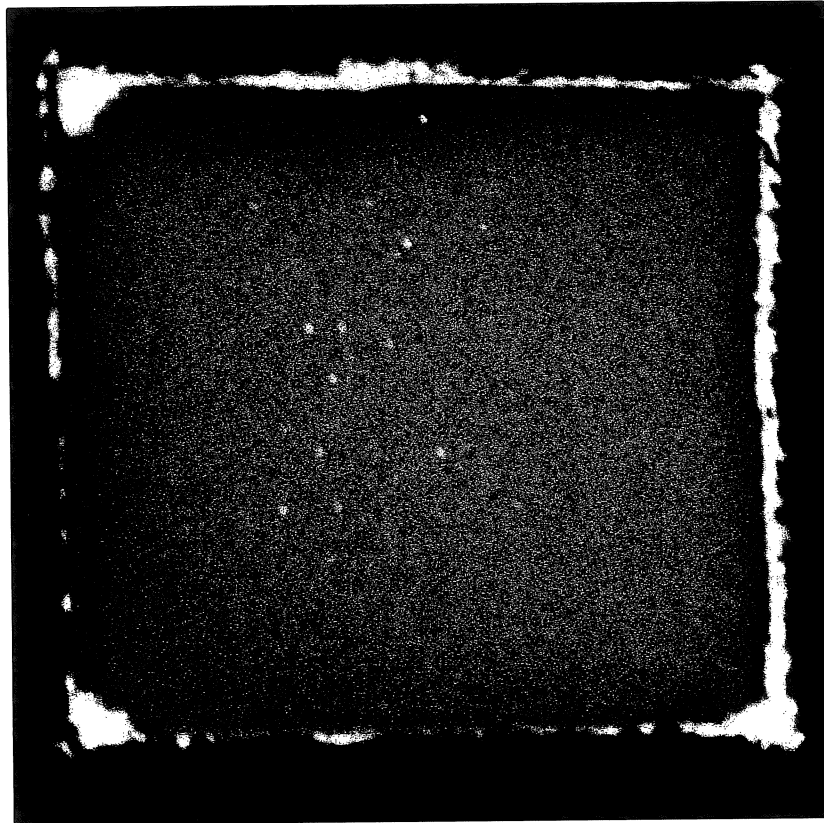


FIG. 28A



FIG. 28B

62/95

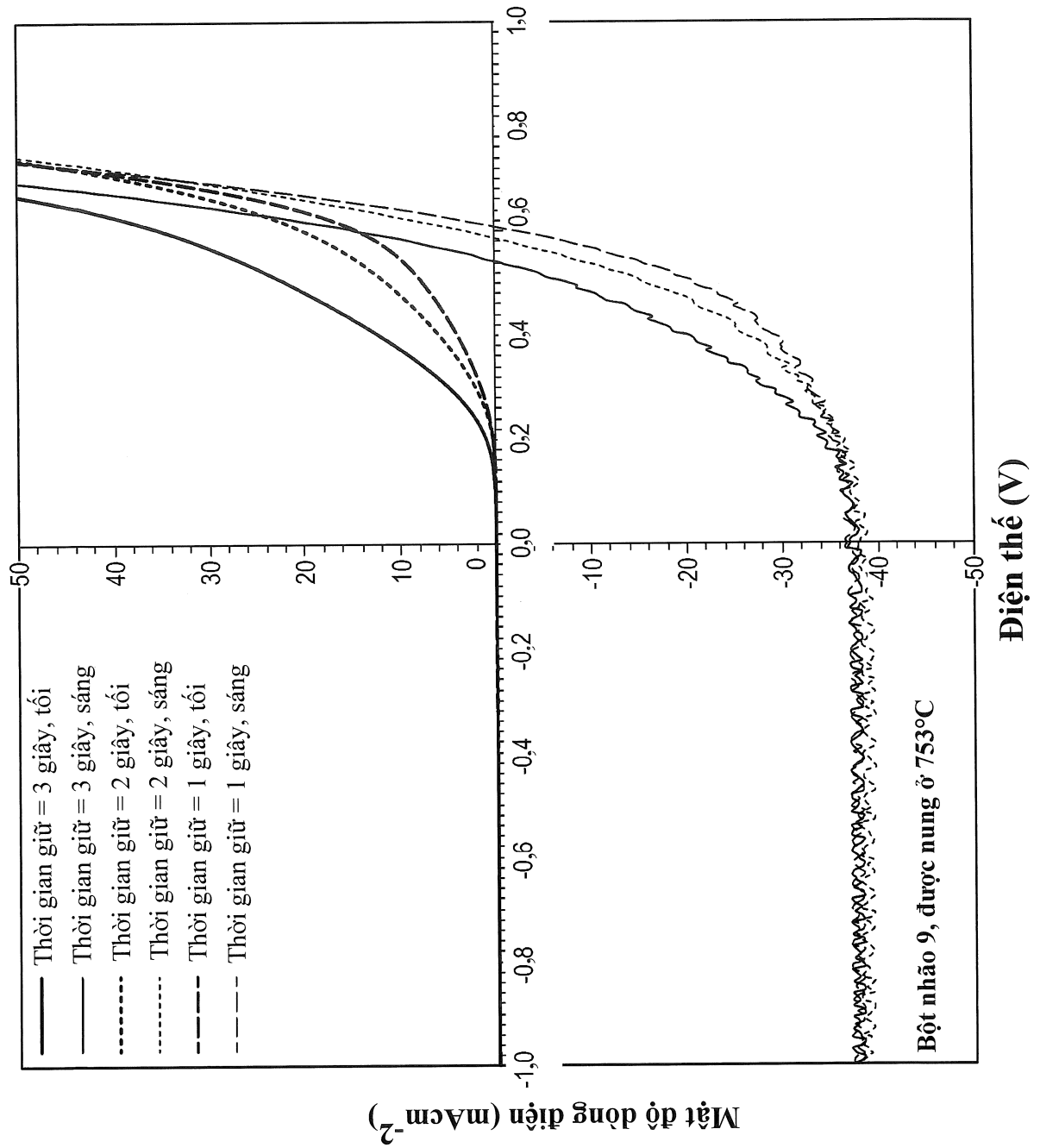


FIG. 29A

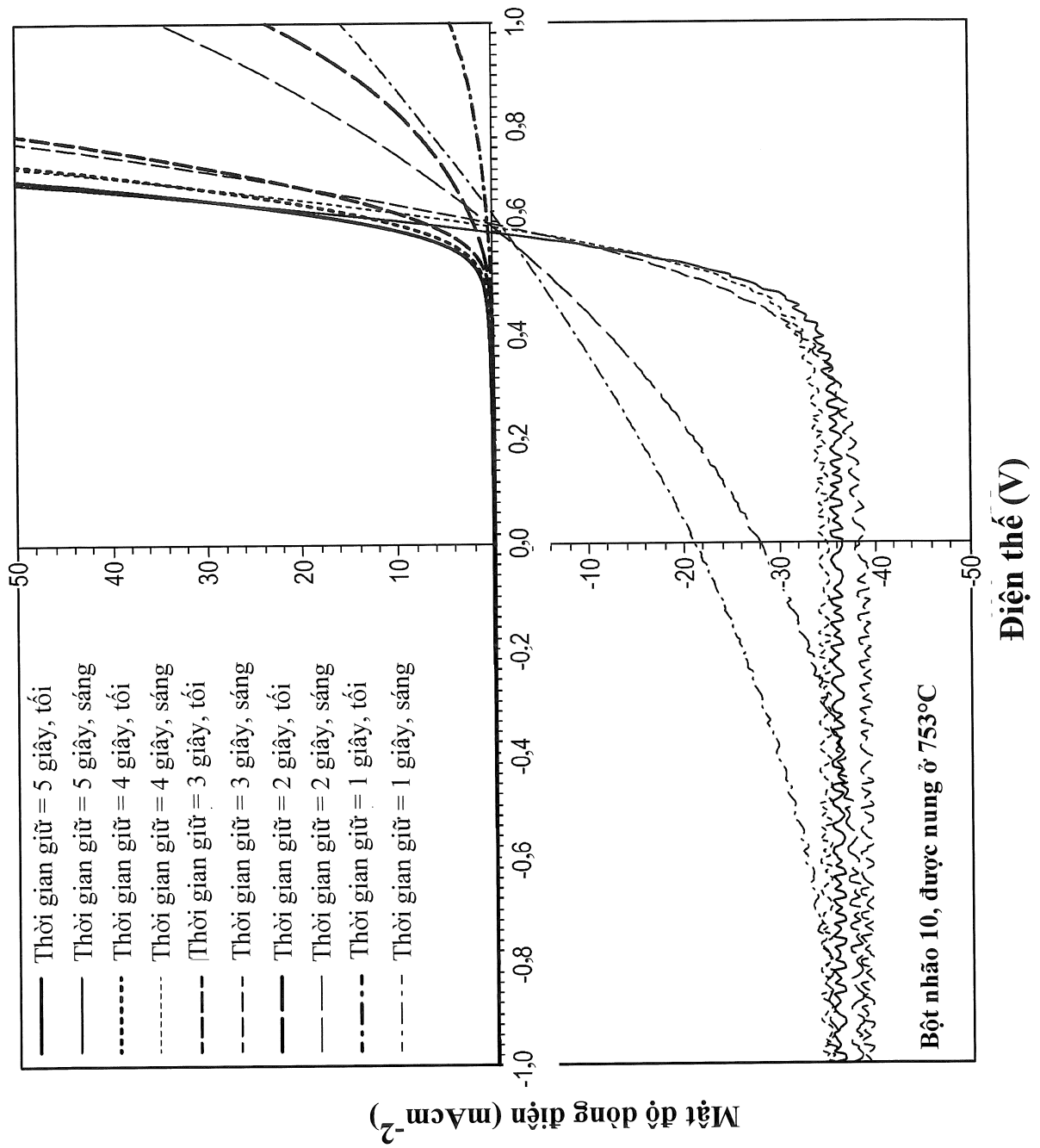


FIG. 29B

64/95

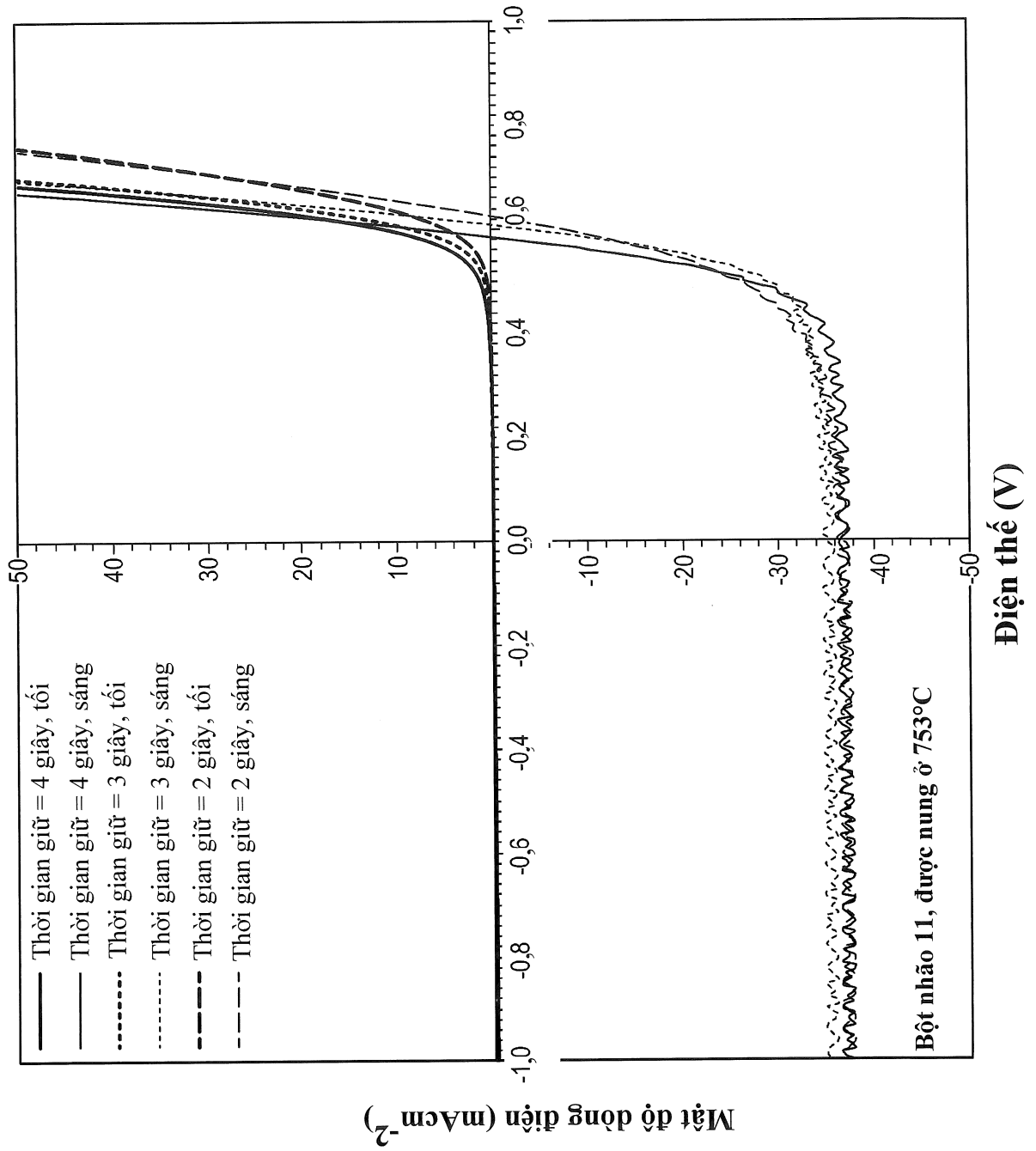


FIG. 29C

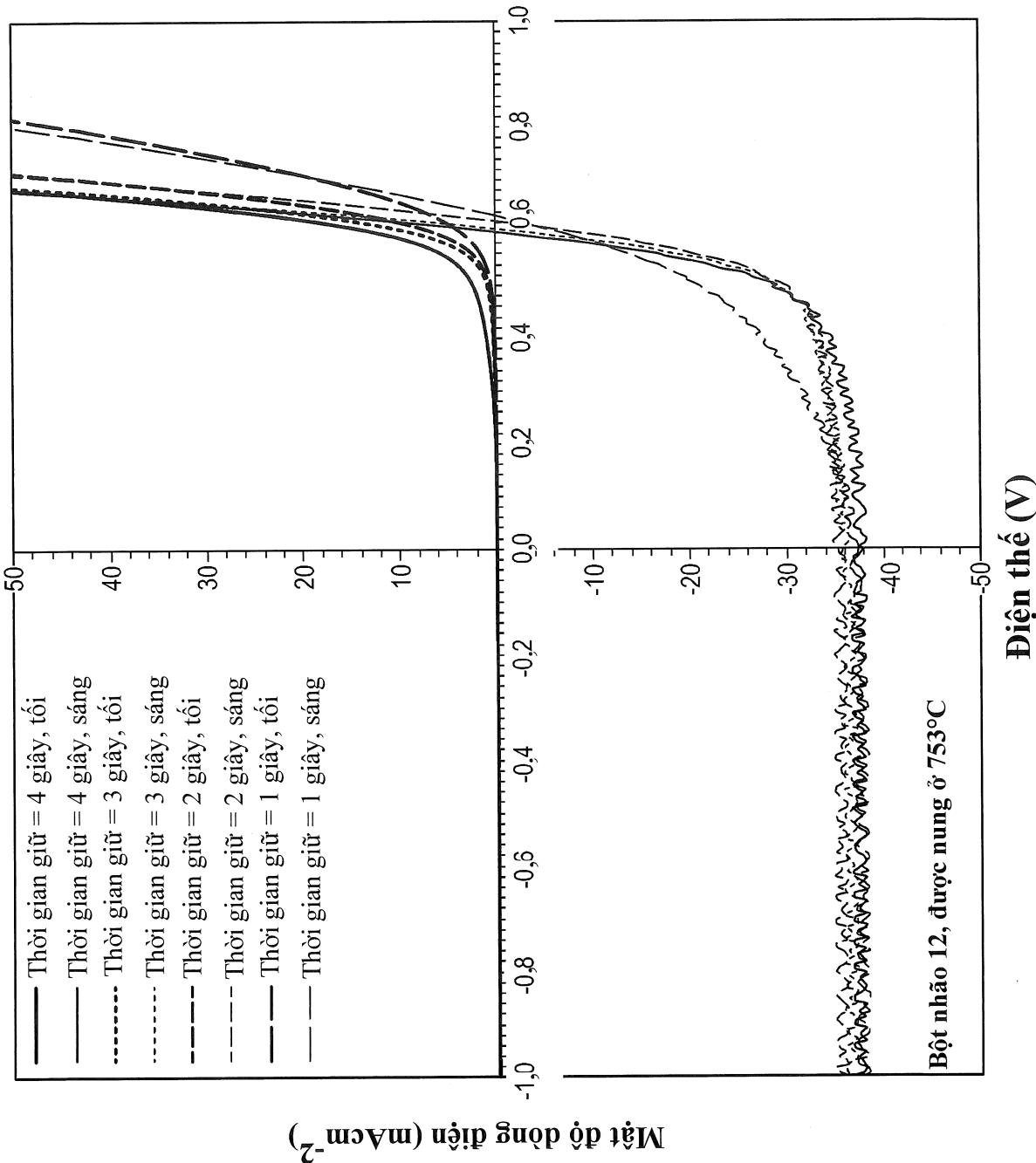


FIG. 29D



66/95

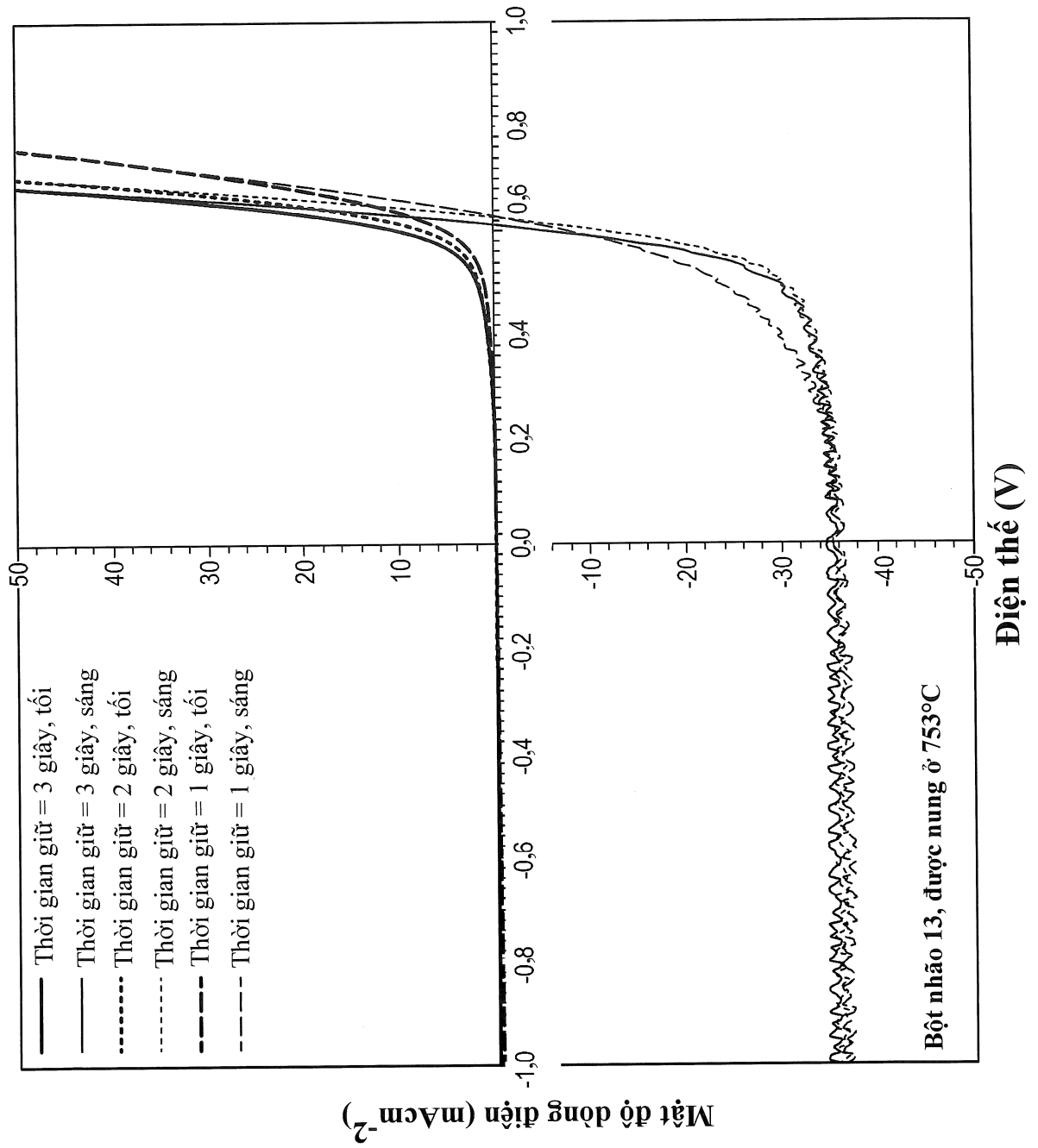


FIG. 29E

67/95

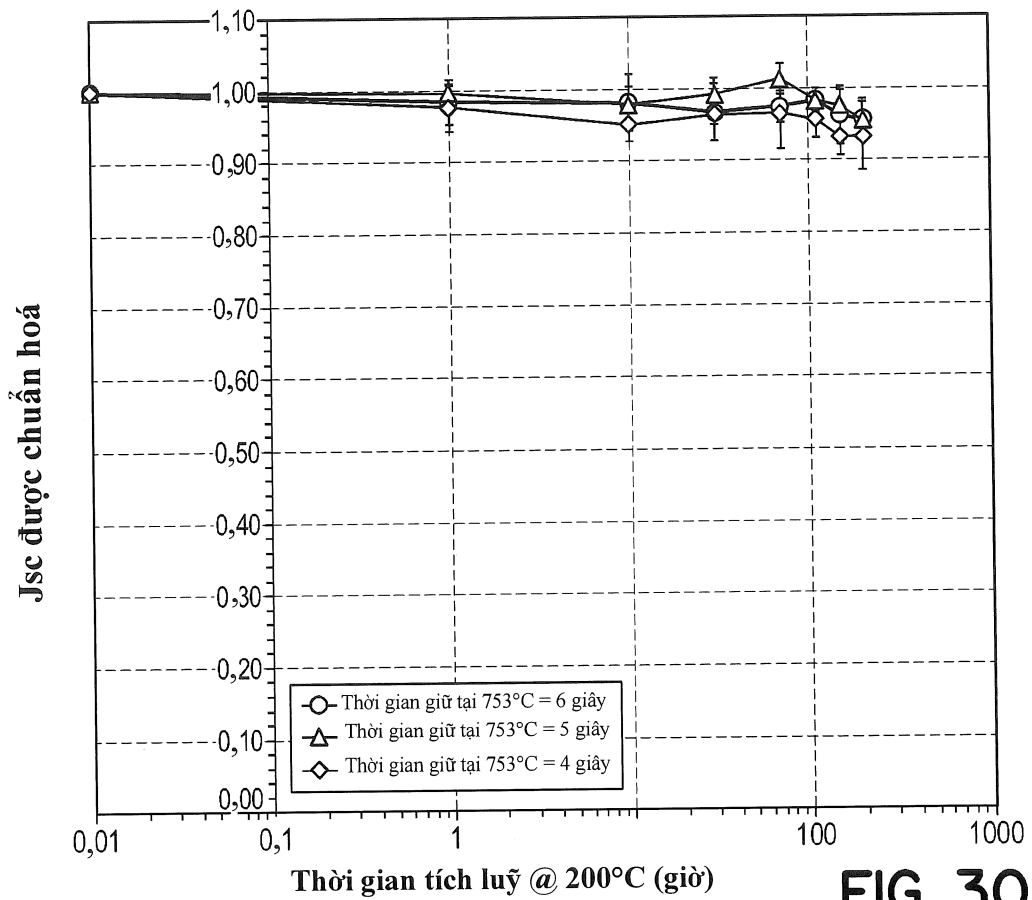


FIG. 30A

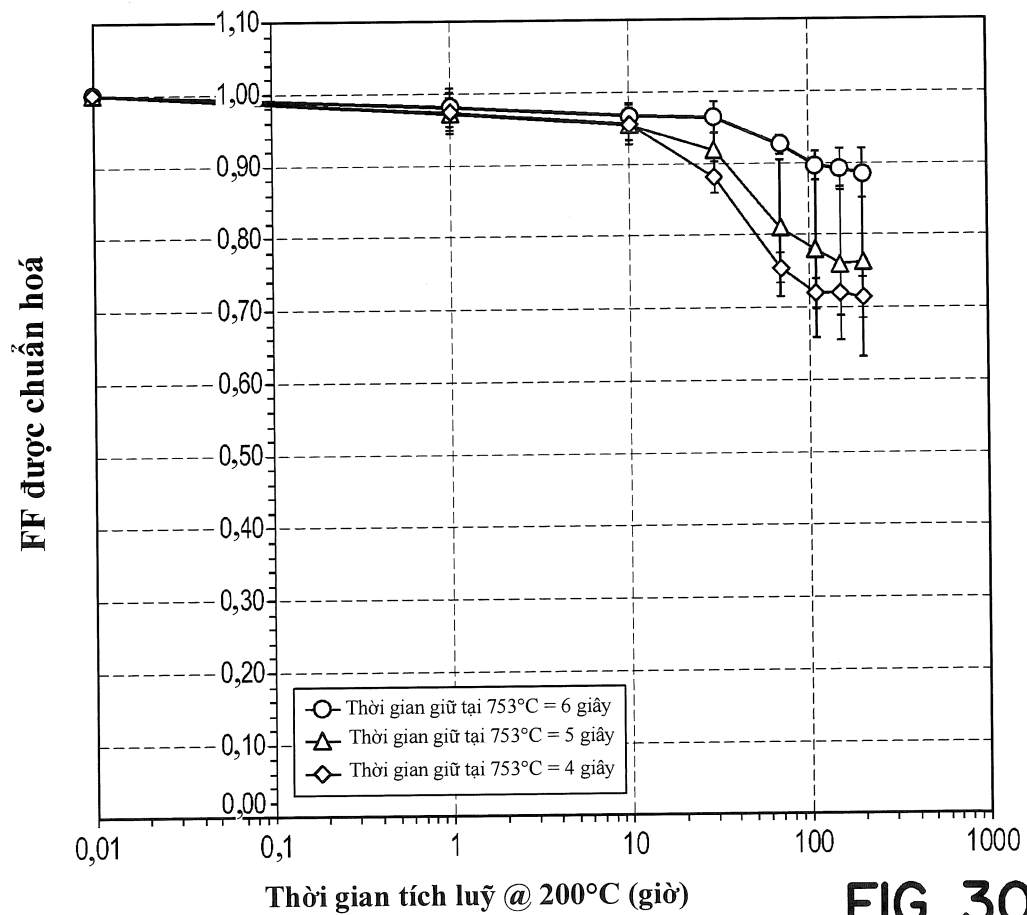


FIG. 30B

68/95

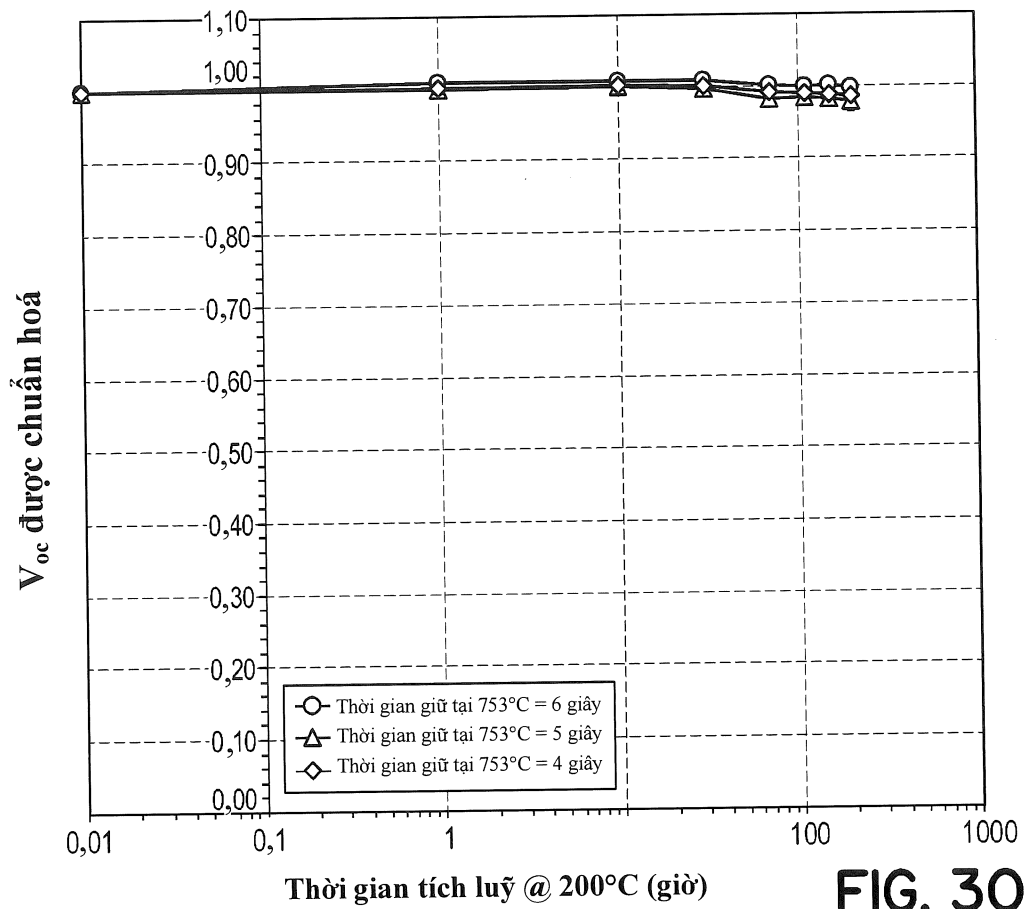


FIG. 30C

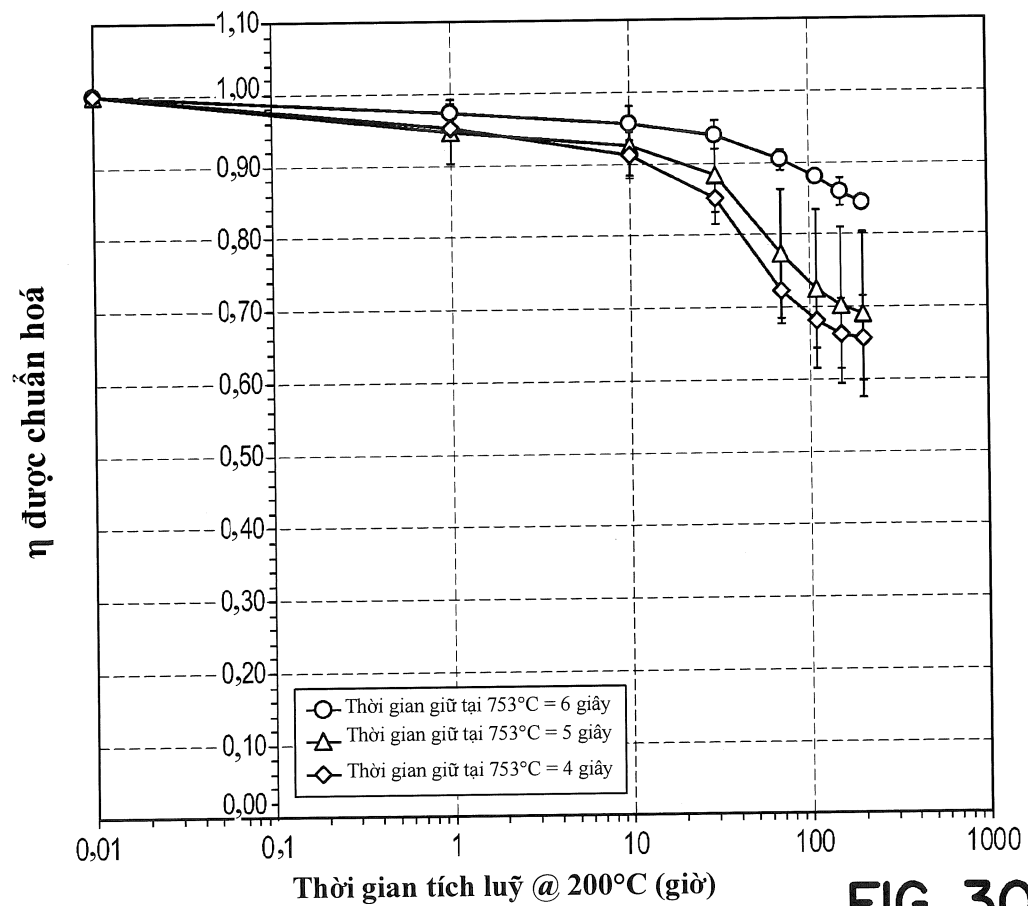


FIG. 30D

69/95

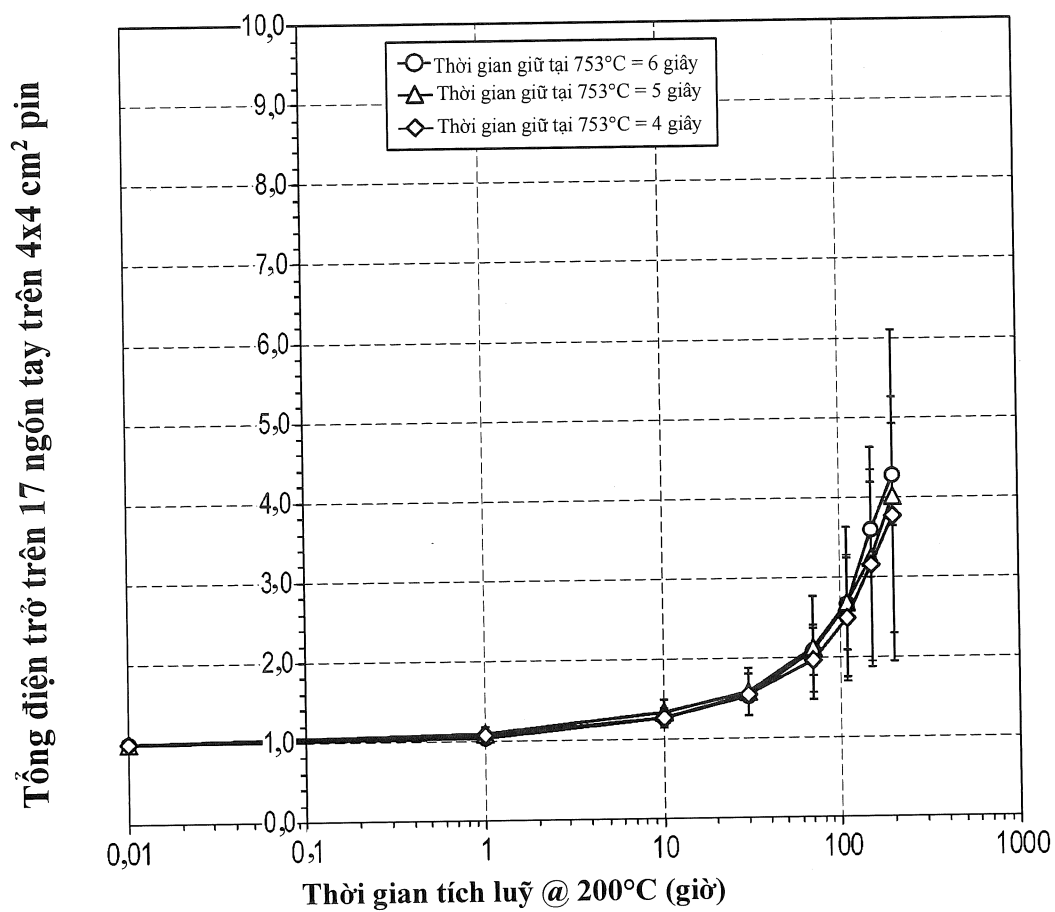


FIG. 30E

70/95

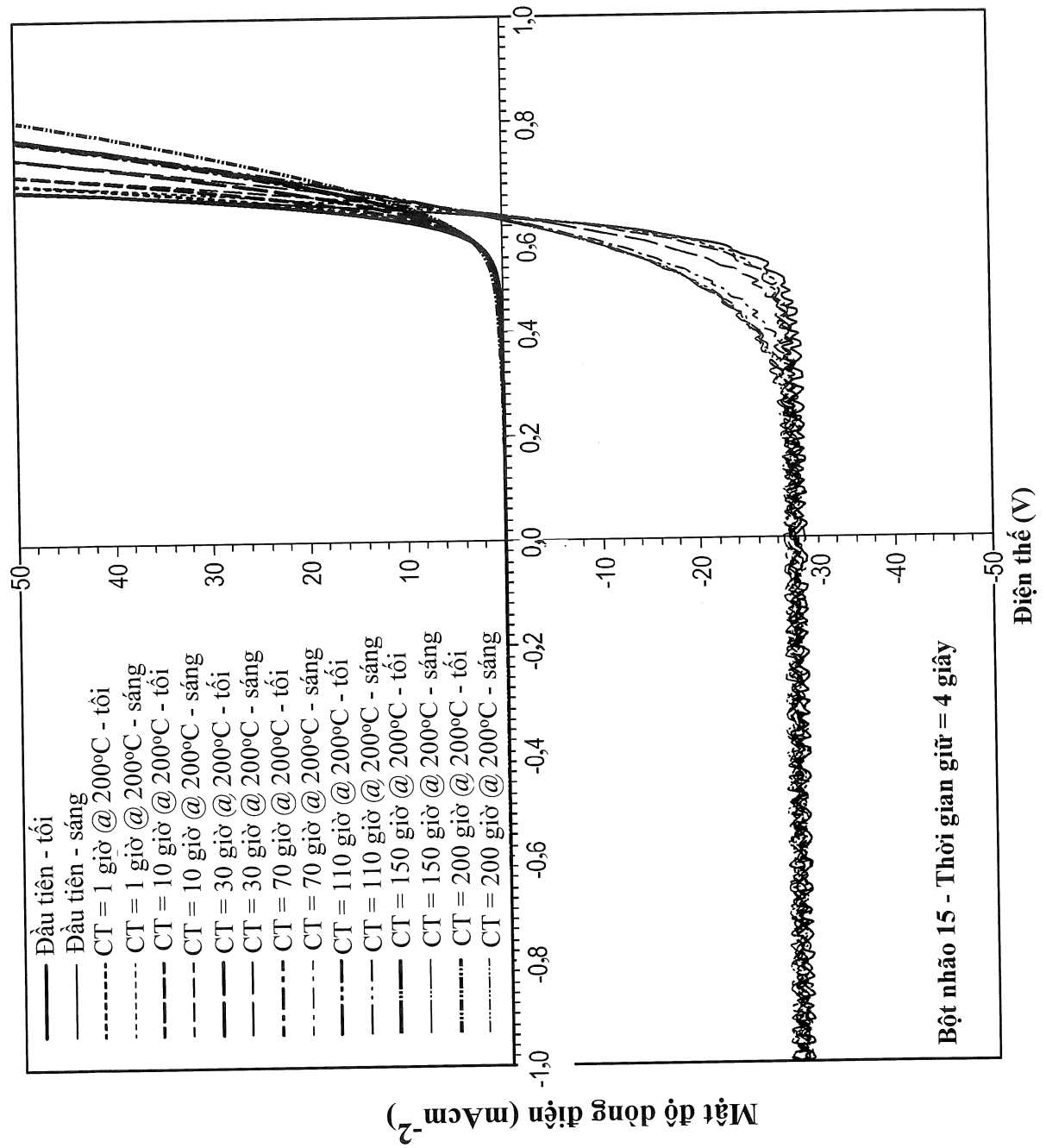


FIG. 30F

71/95

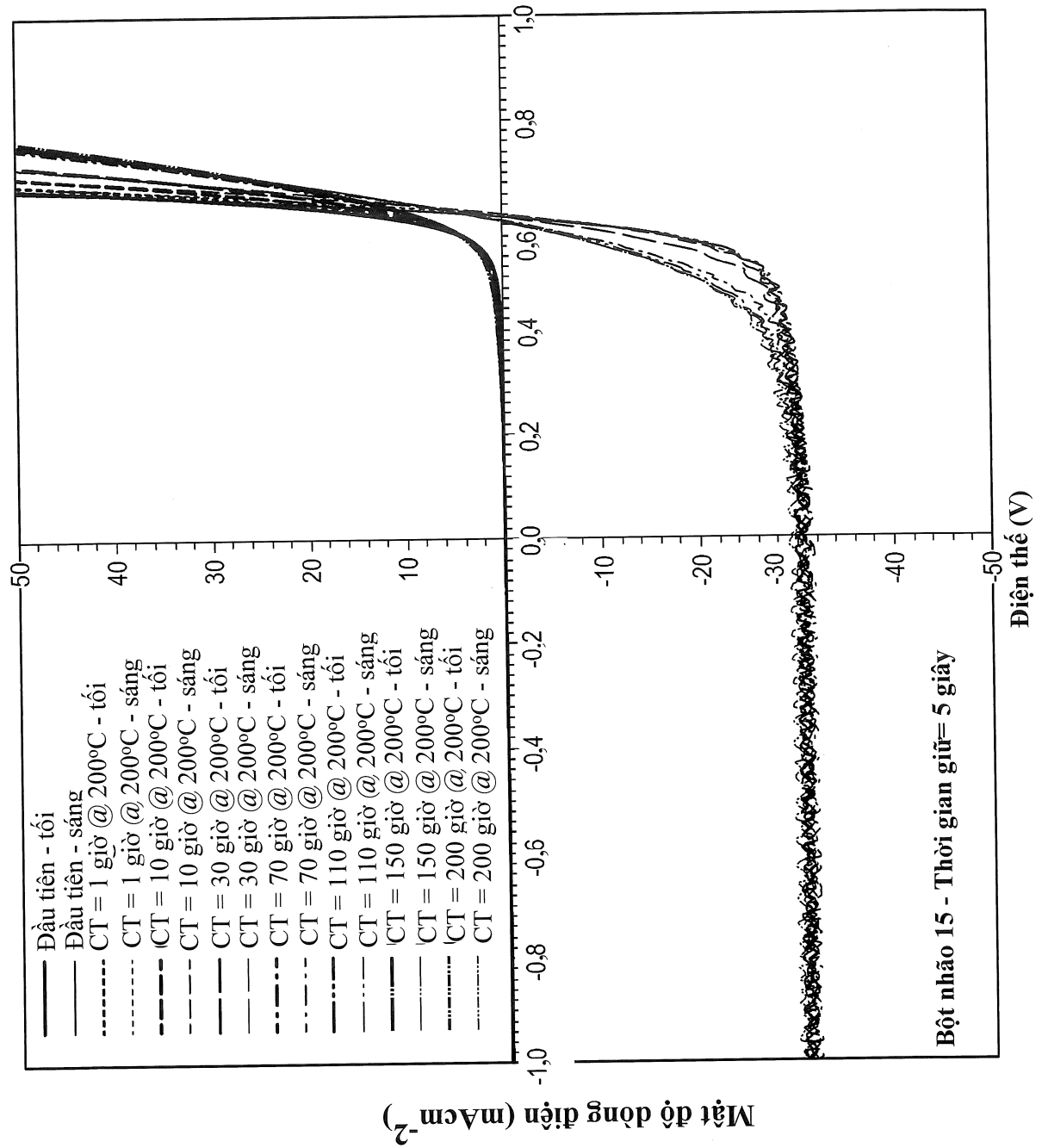


FIG. 30G

72/95

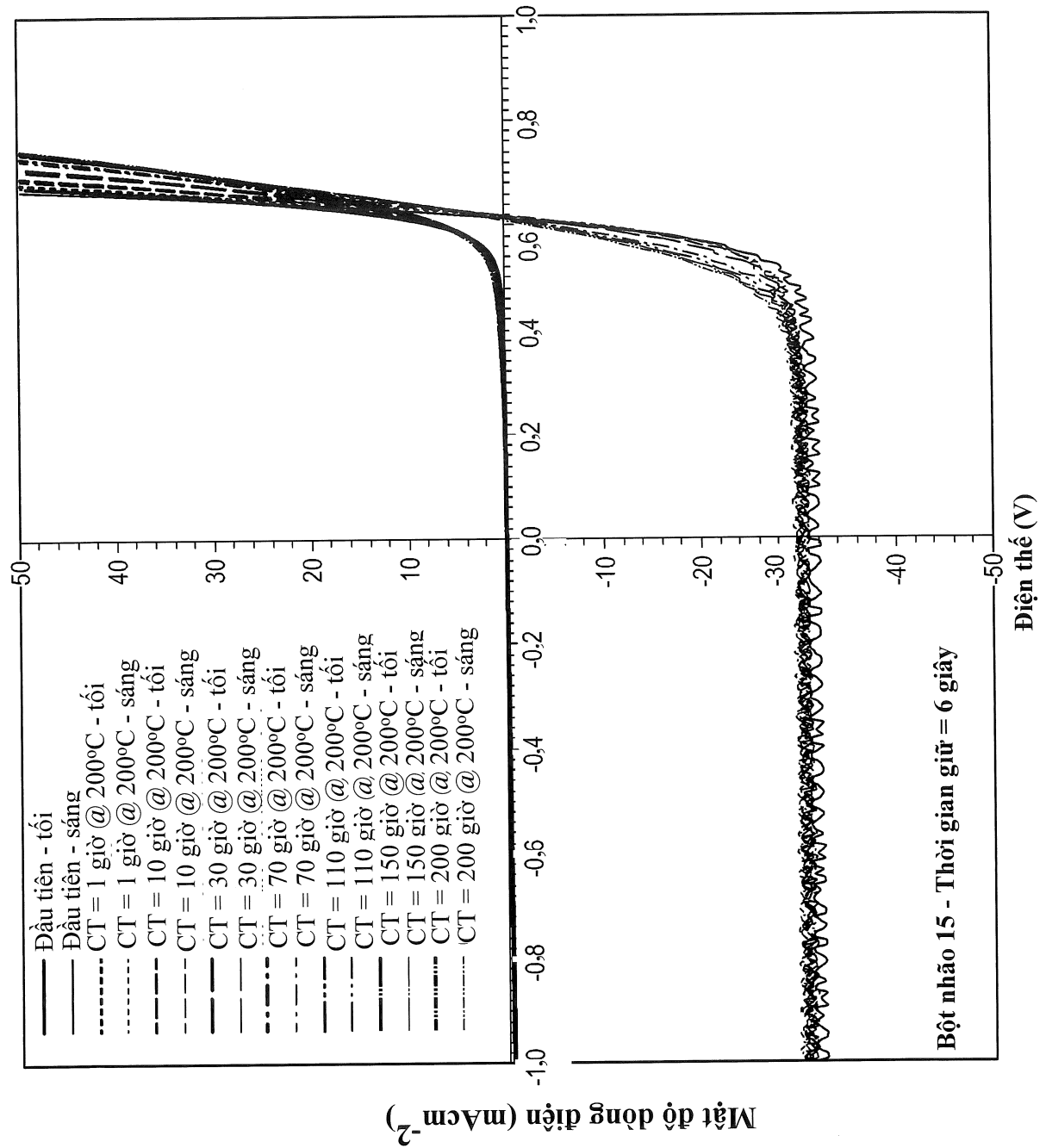


FIG. 30H

73/95

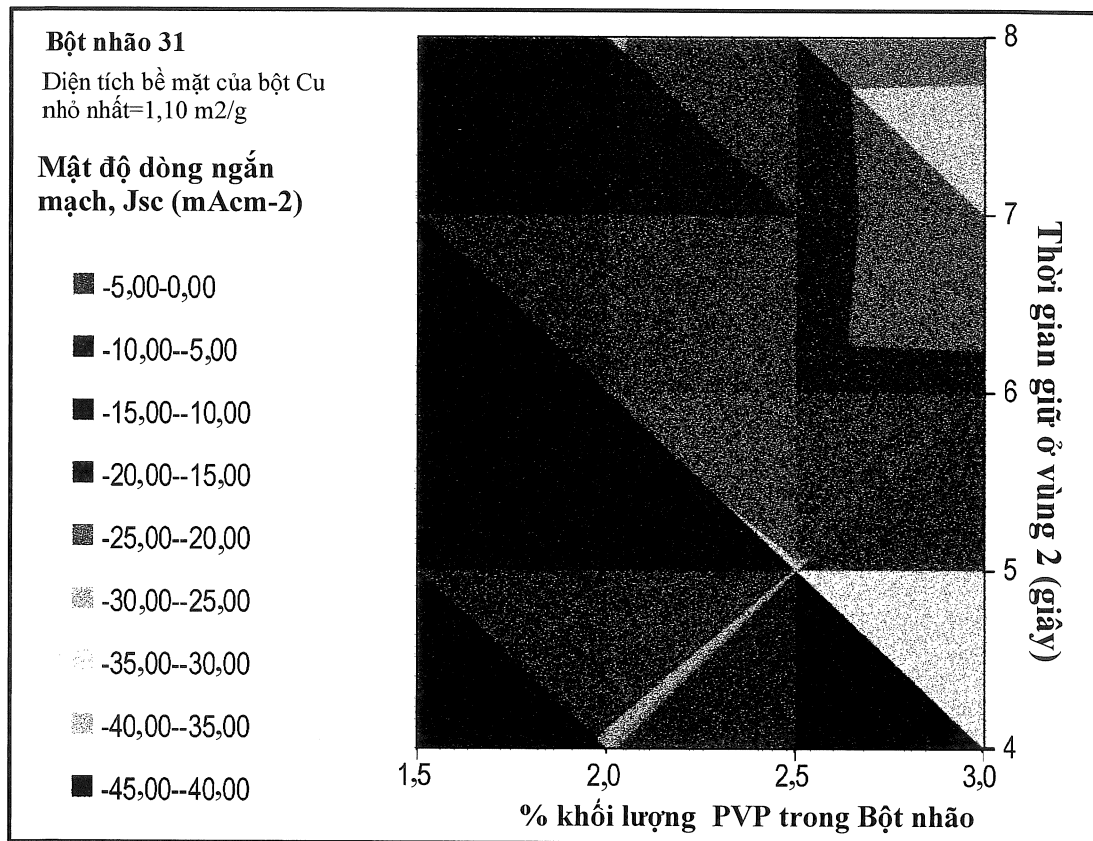


FIG. 31A

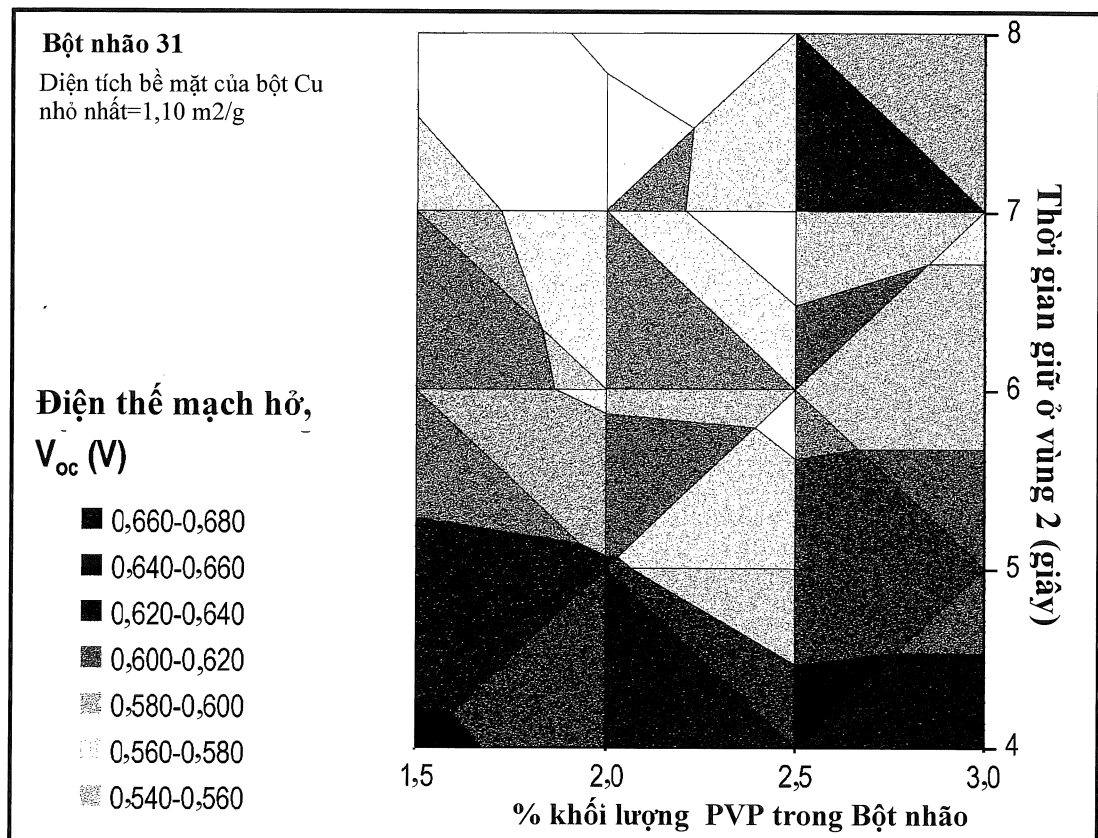


FIG. 31B

74/95

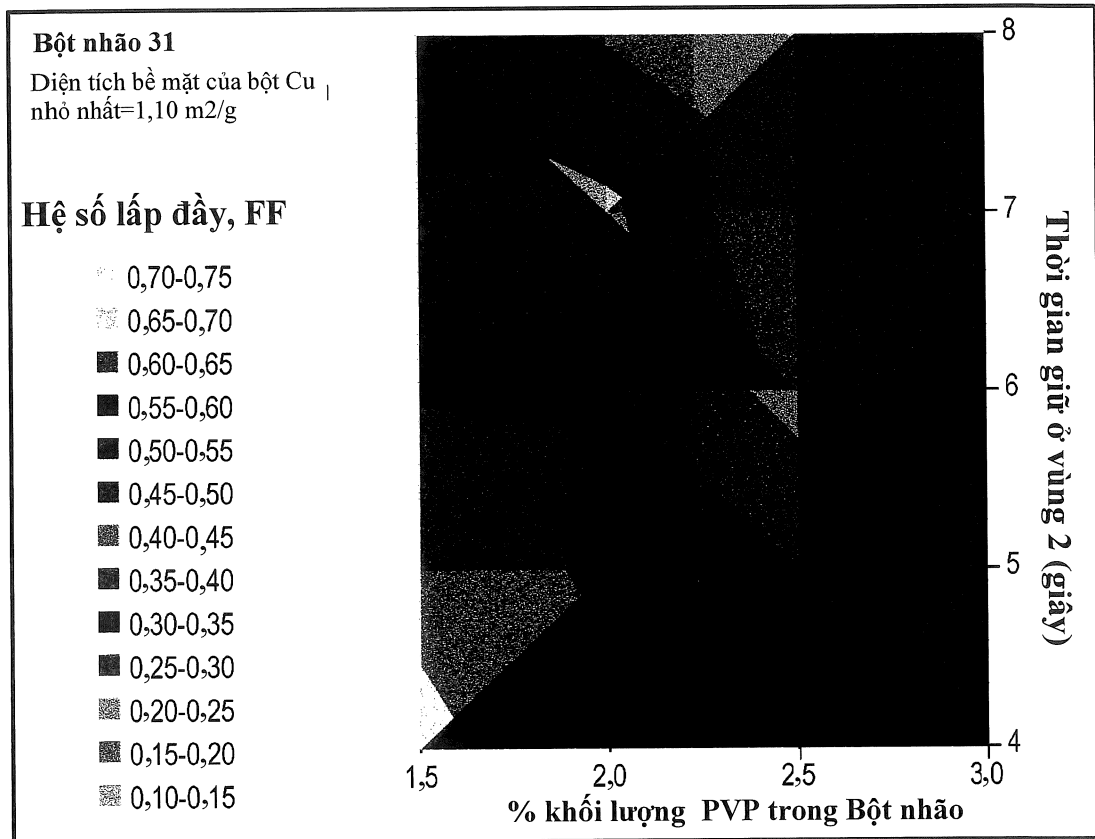


FIG. 31C

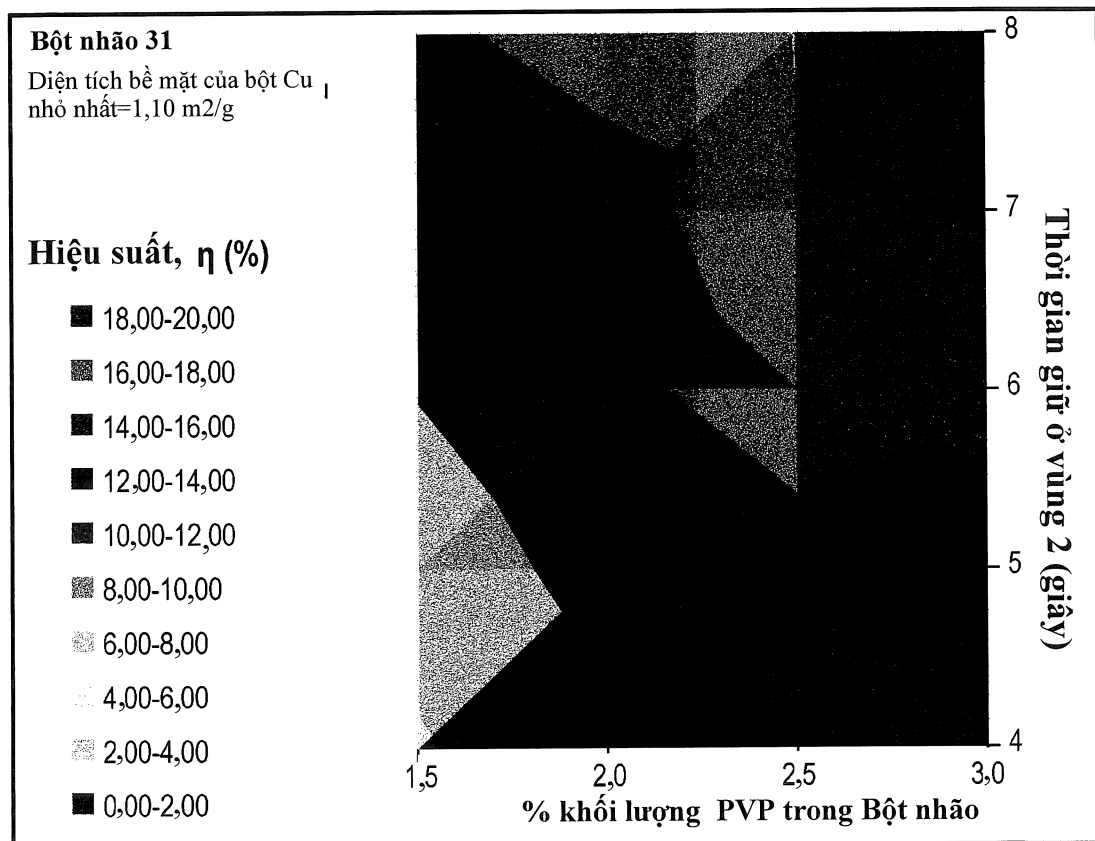


FIG. 31D

75/95

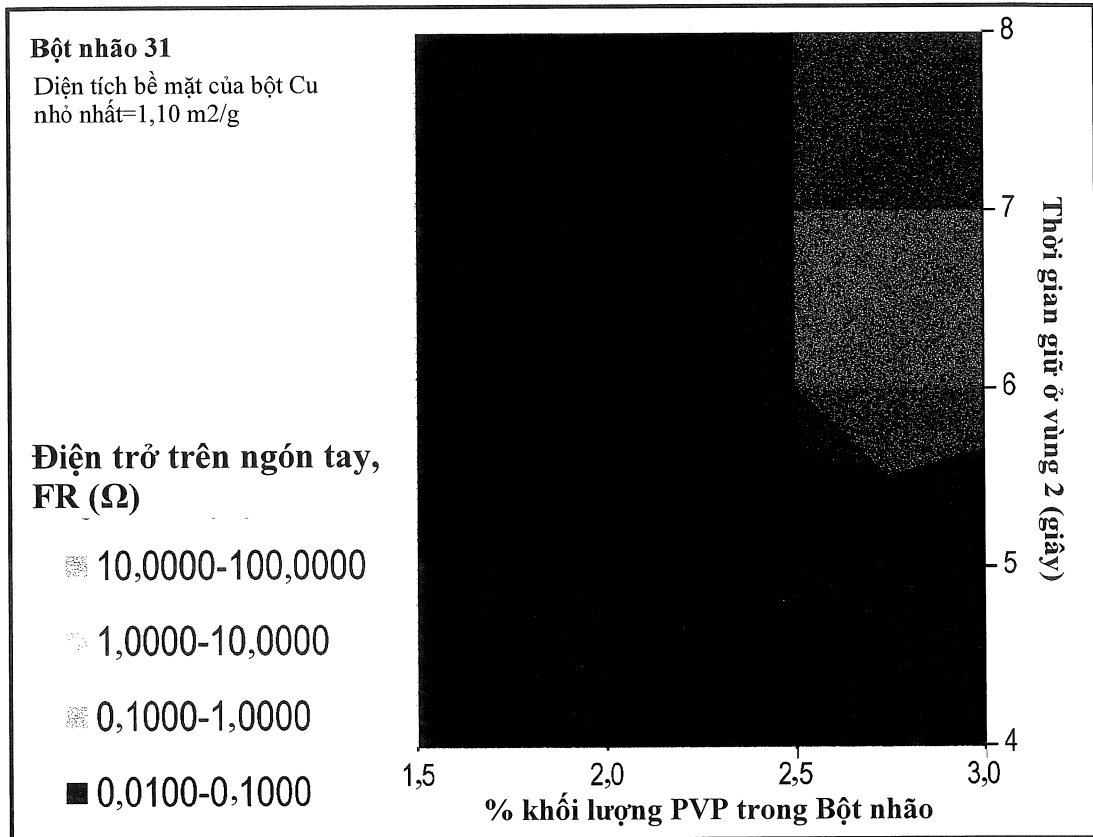


FIG. 31E

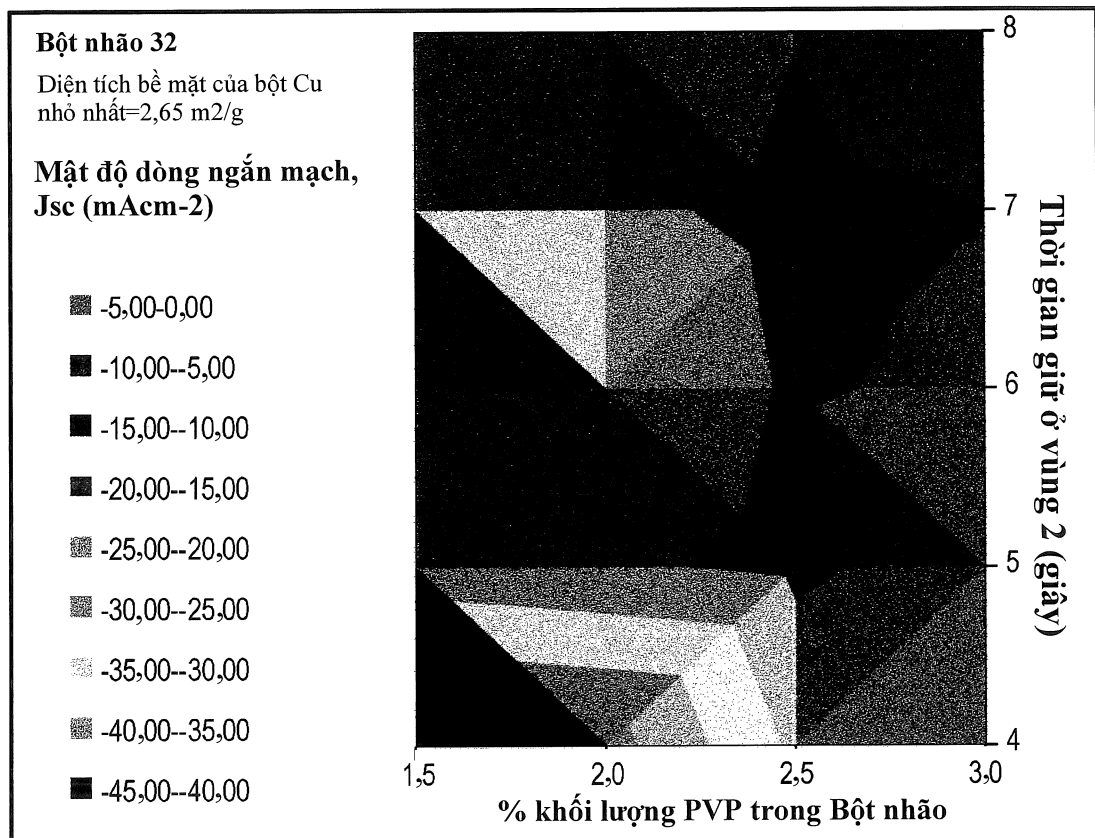


FIG. 31F

76/95

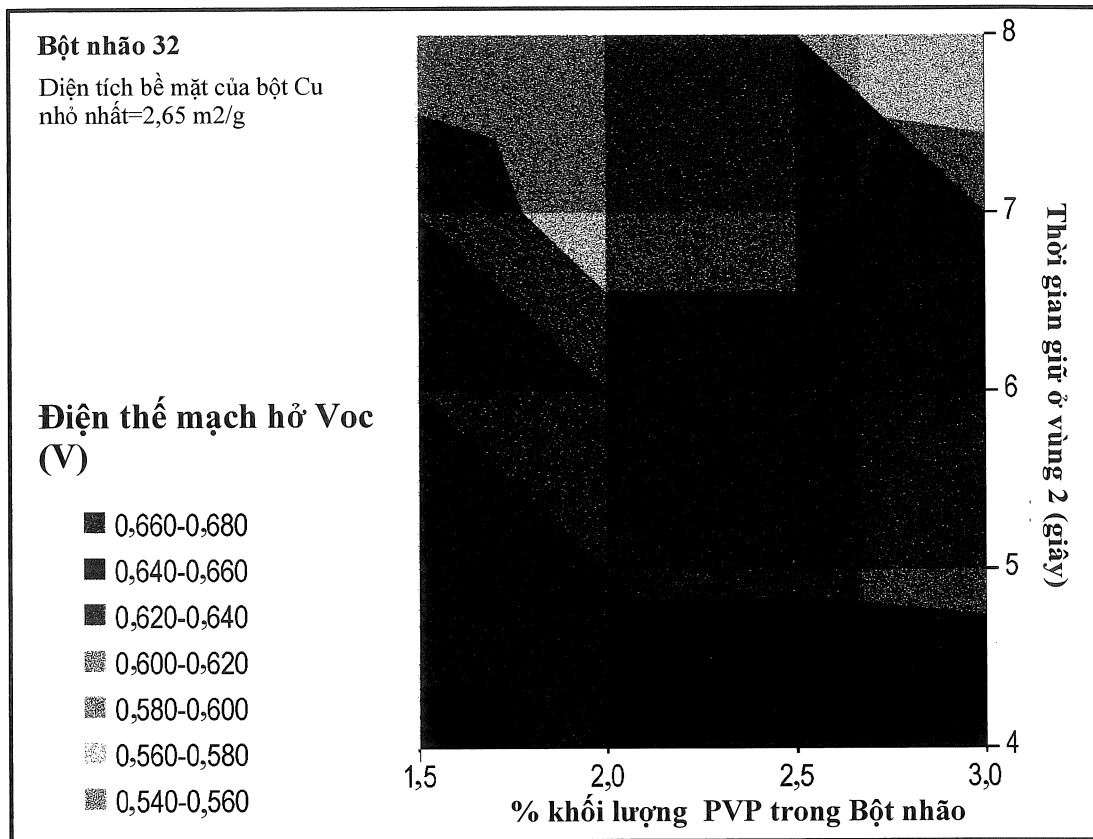


FIG. 31G

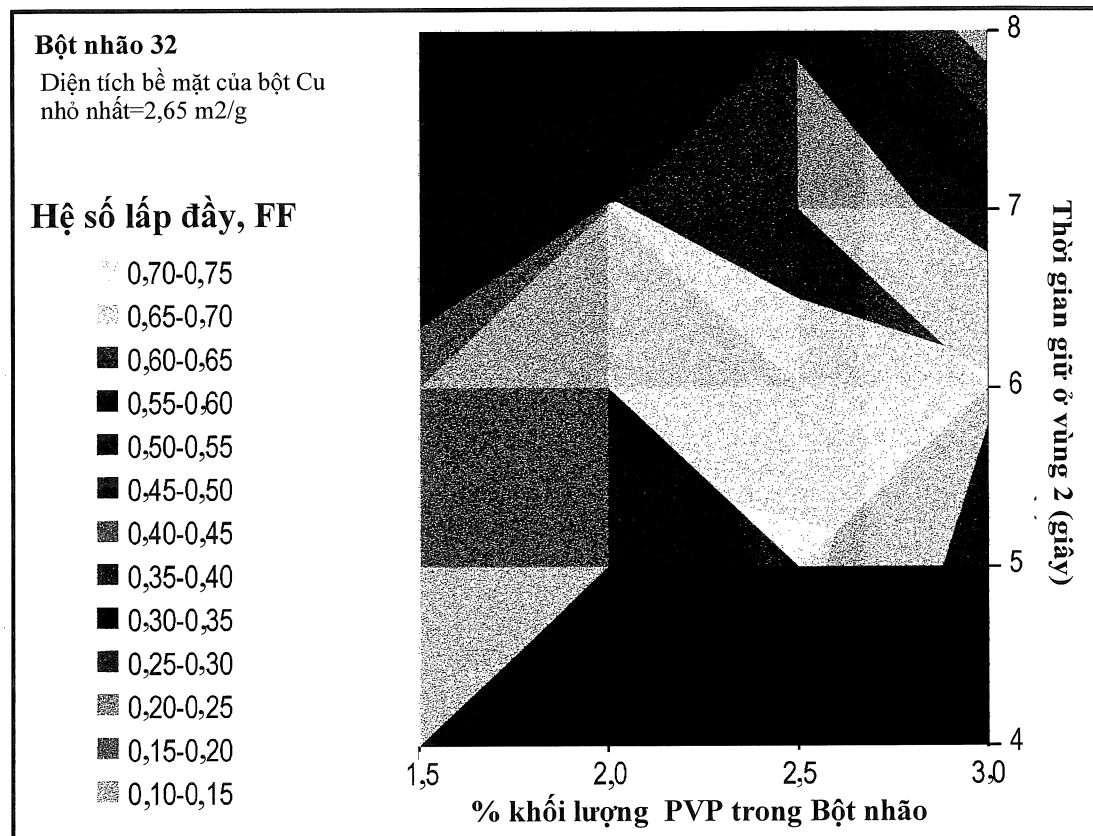


FIG. 31H

77/95

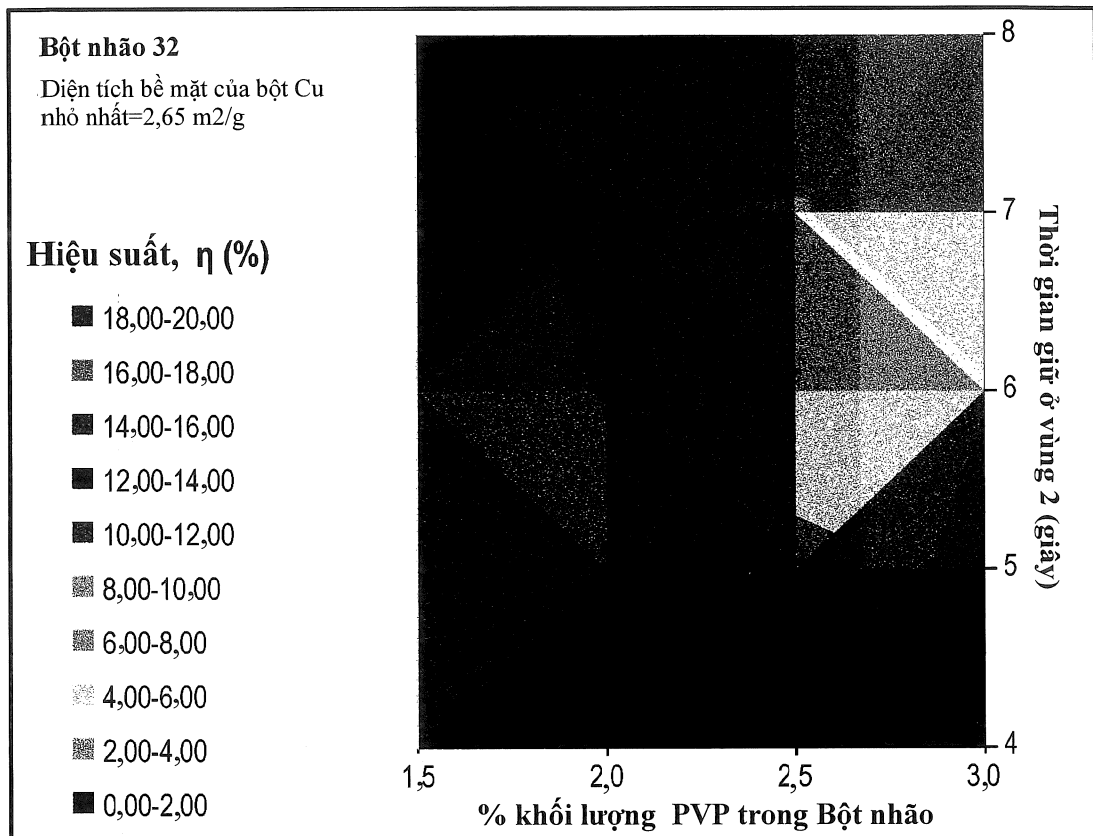


FIG. 31I

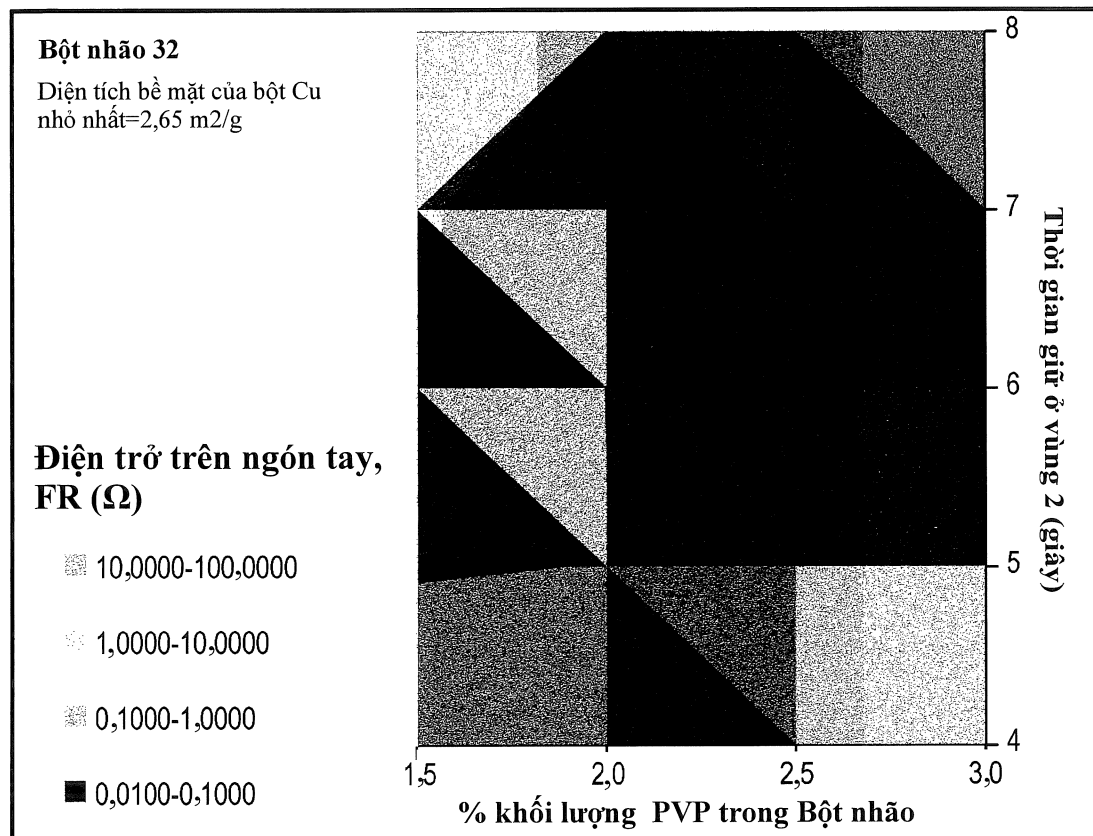


FIG. 31J

78/95

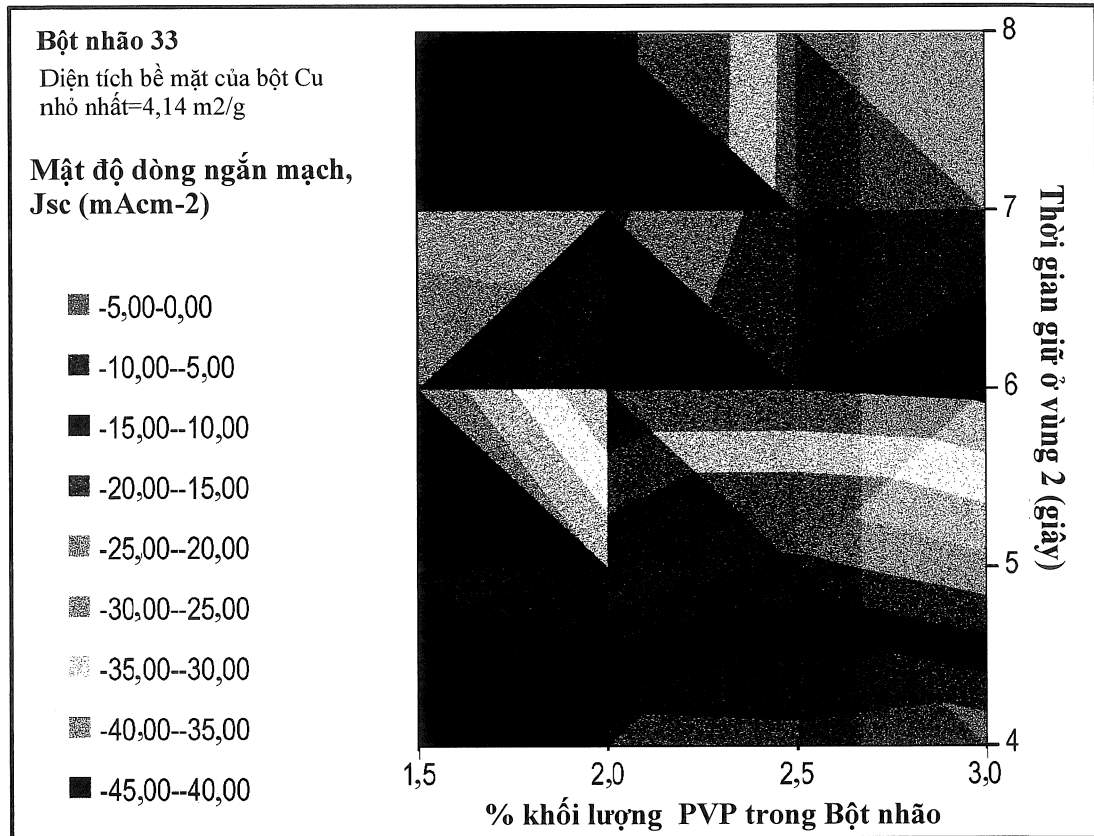


FIG. 31K

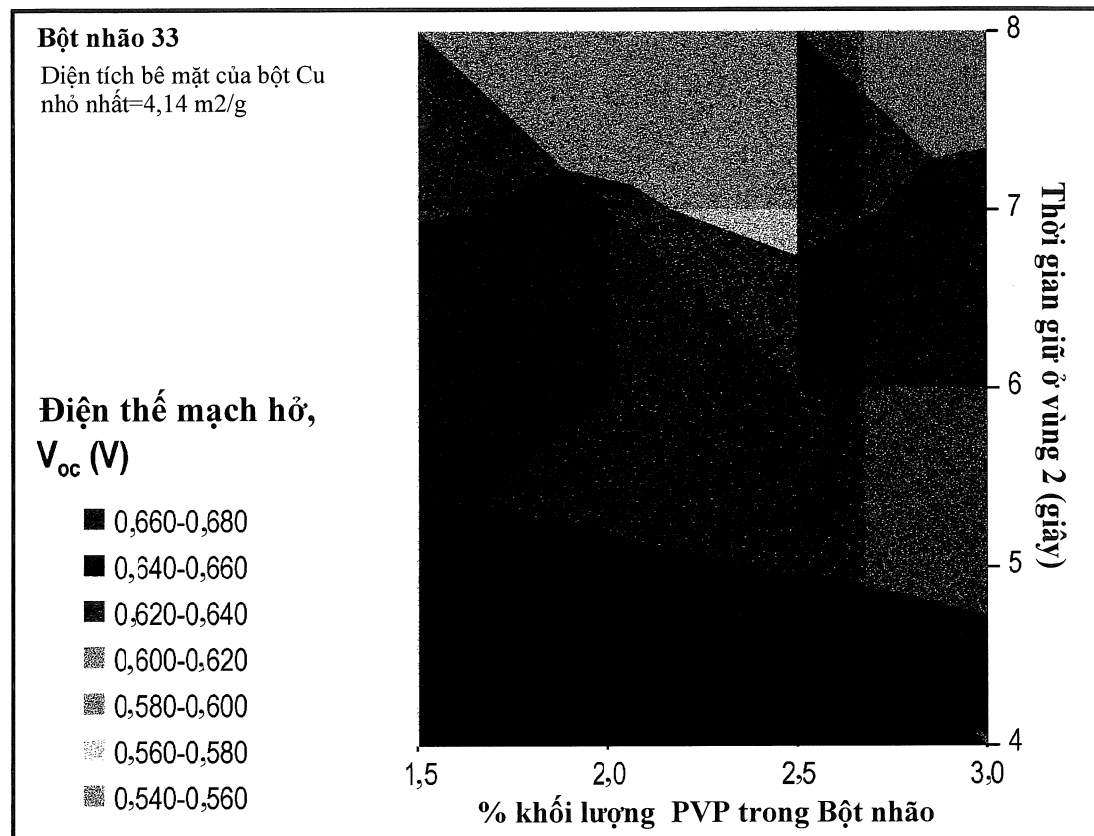


FIG. 31L

79/95

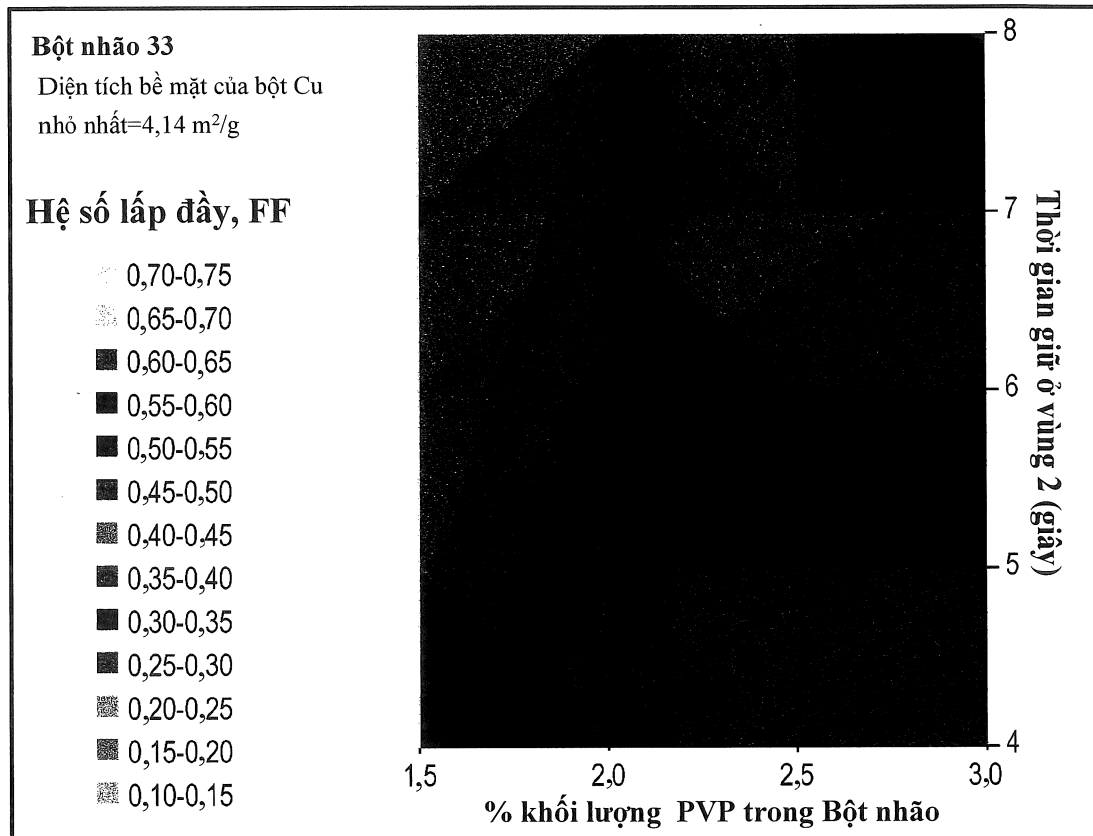


FIG. 31M

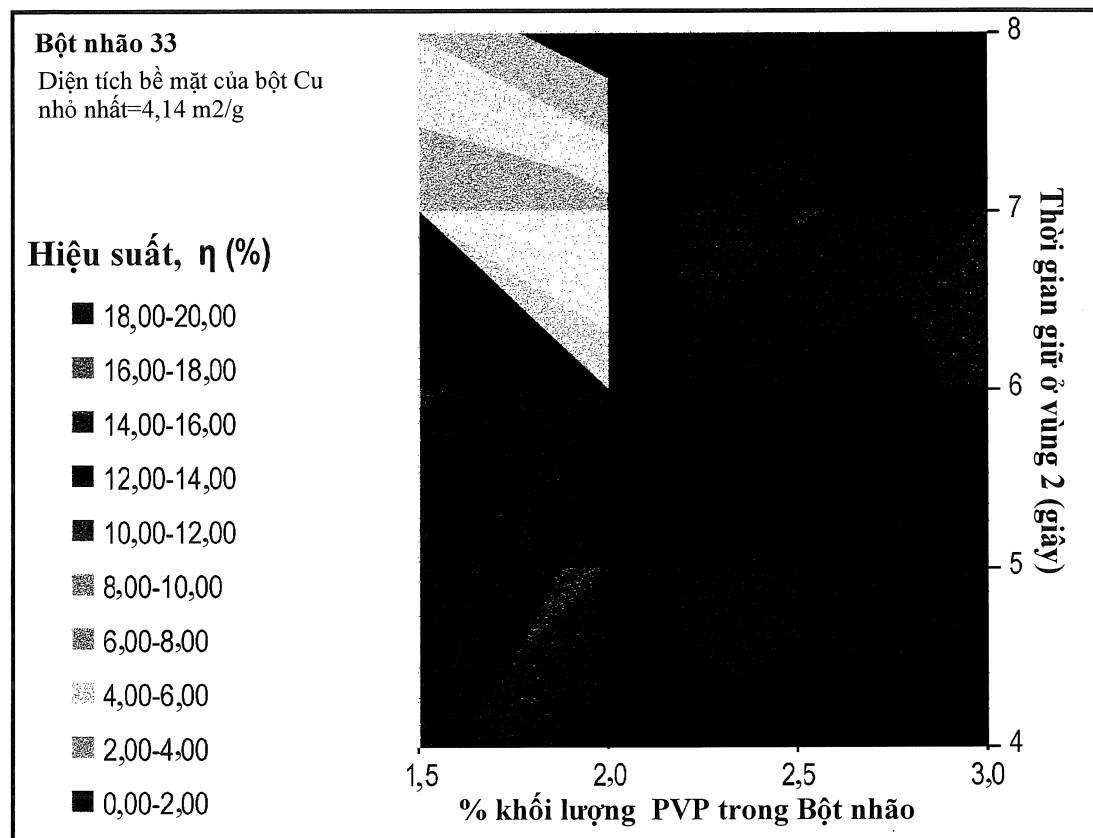


FIG. 31N

80/95

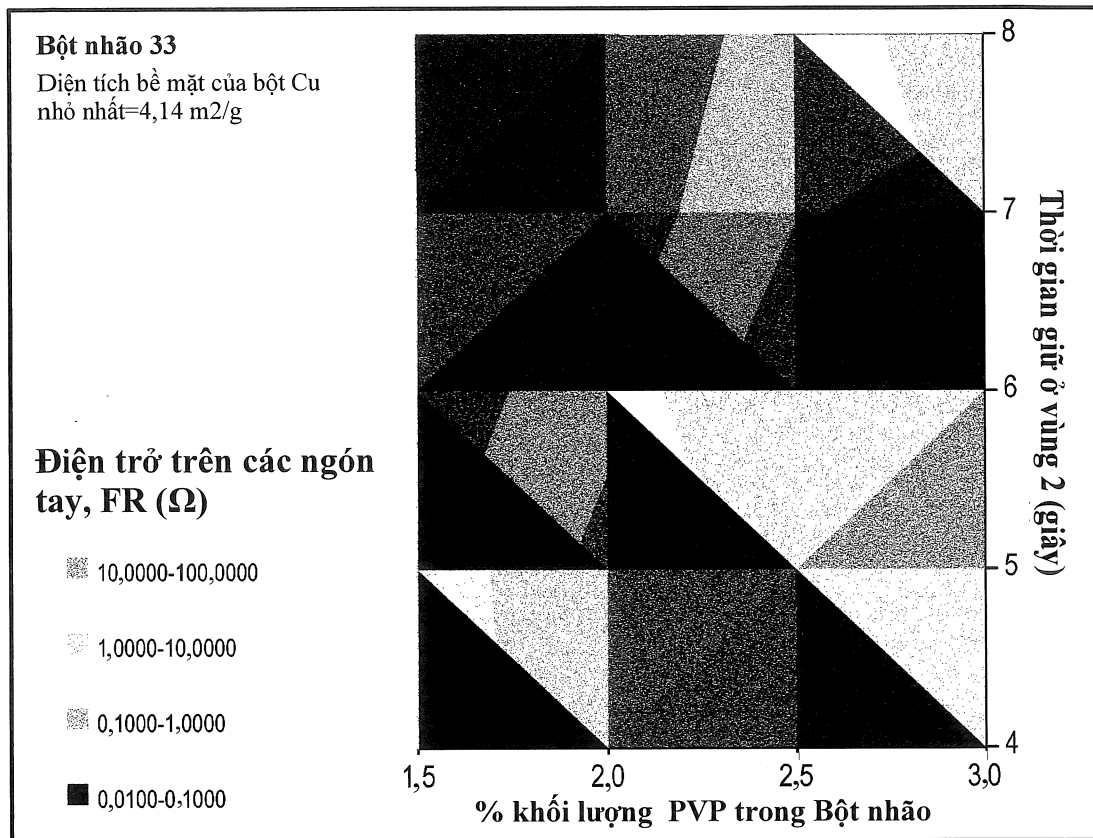


FIG. 310

81/95

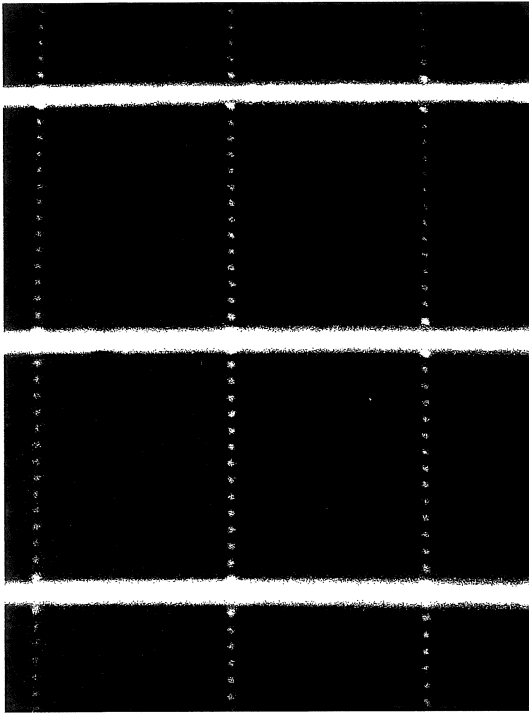


FIG. 32B

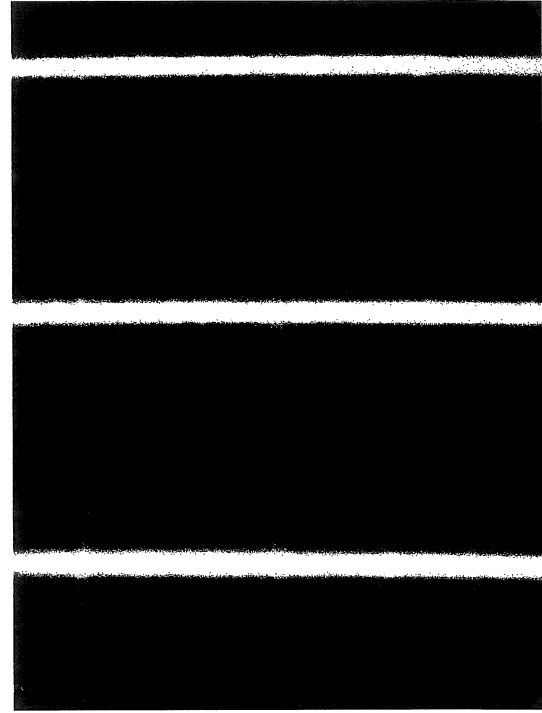


FIG. 32D

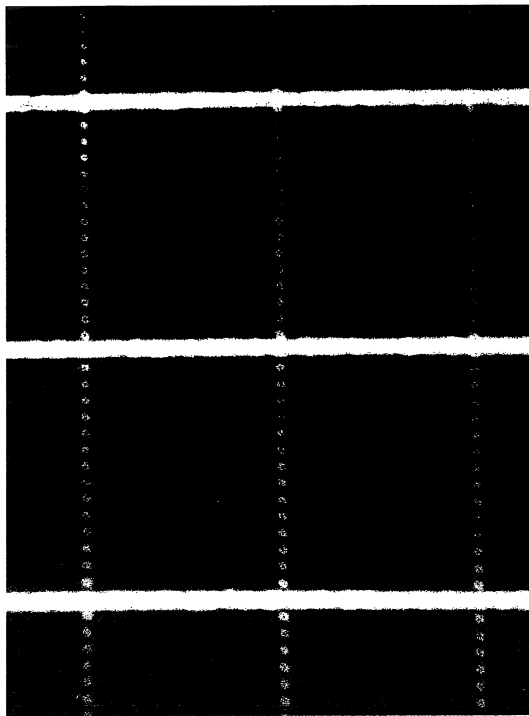


FIG. 32A

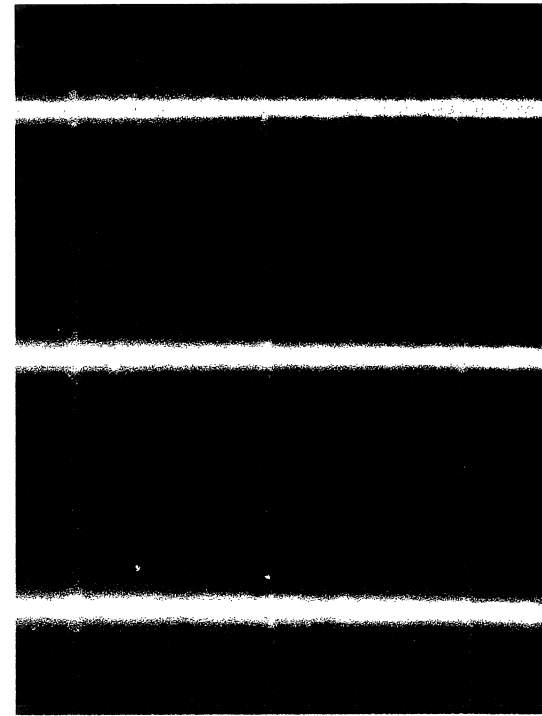


FIG. 32C

82/95

└



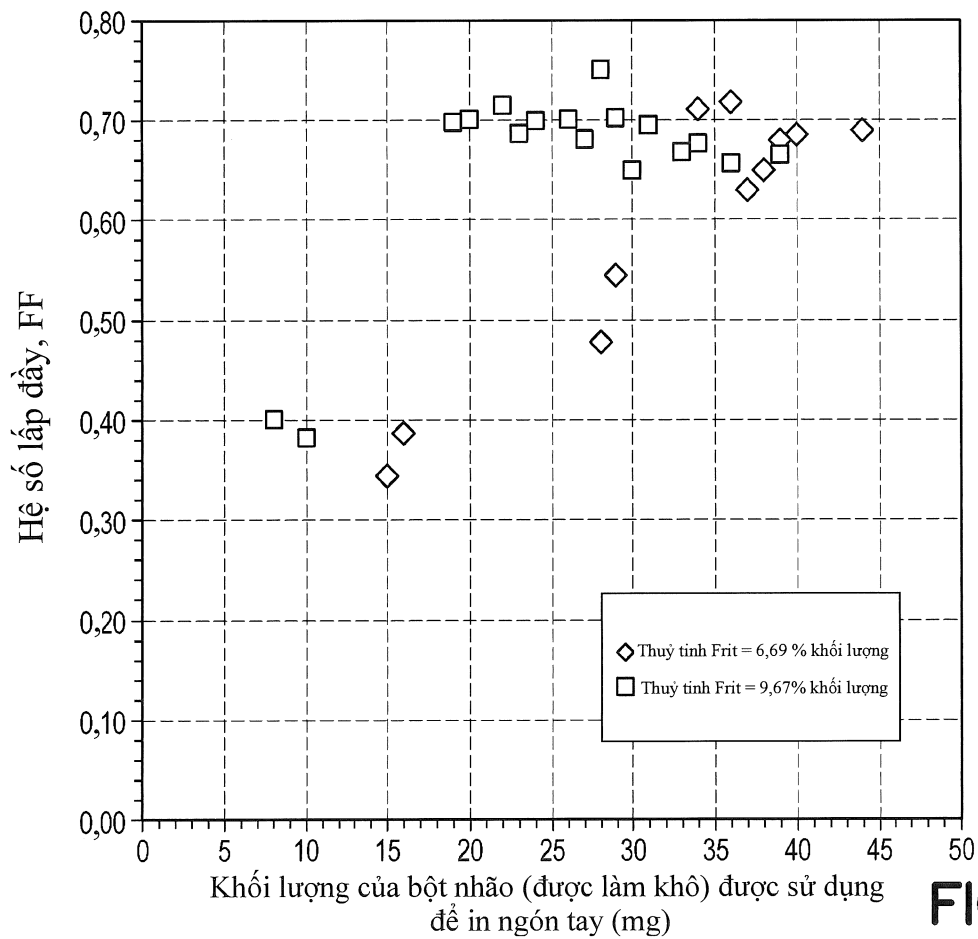
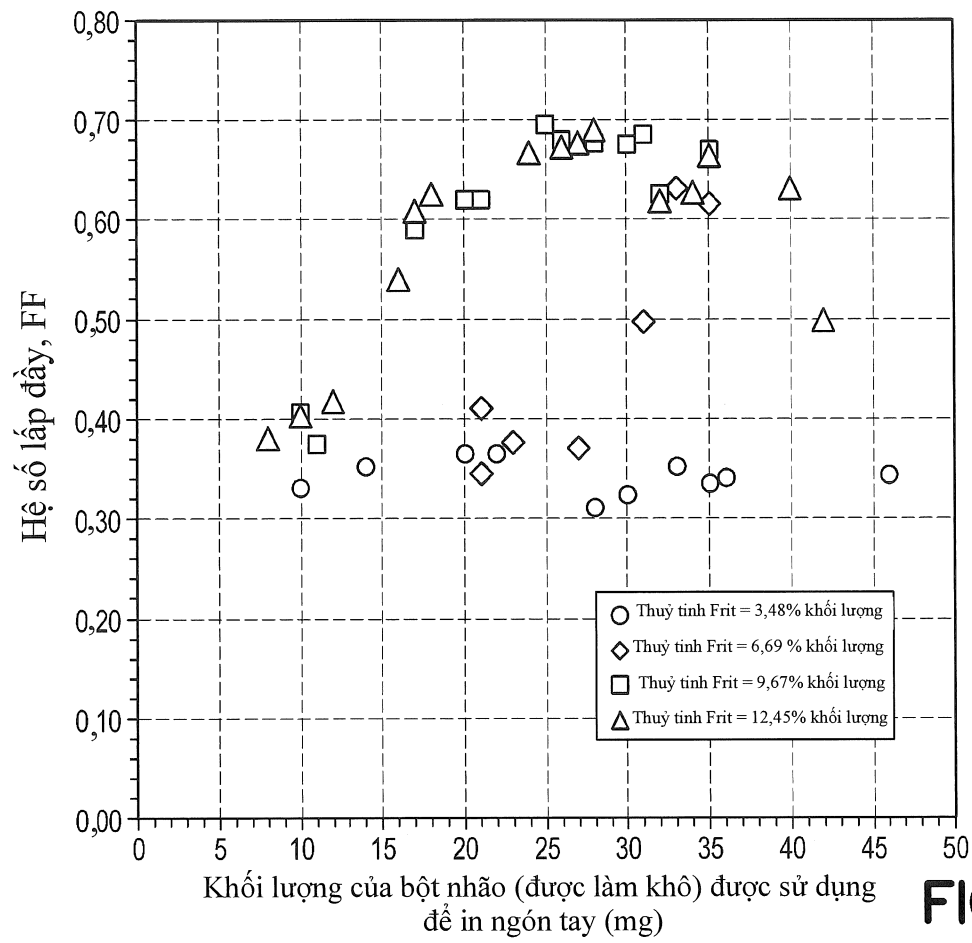
FIG. 32F



FIG. 32E

└

83/95



84/95

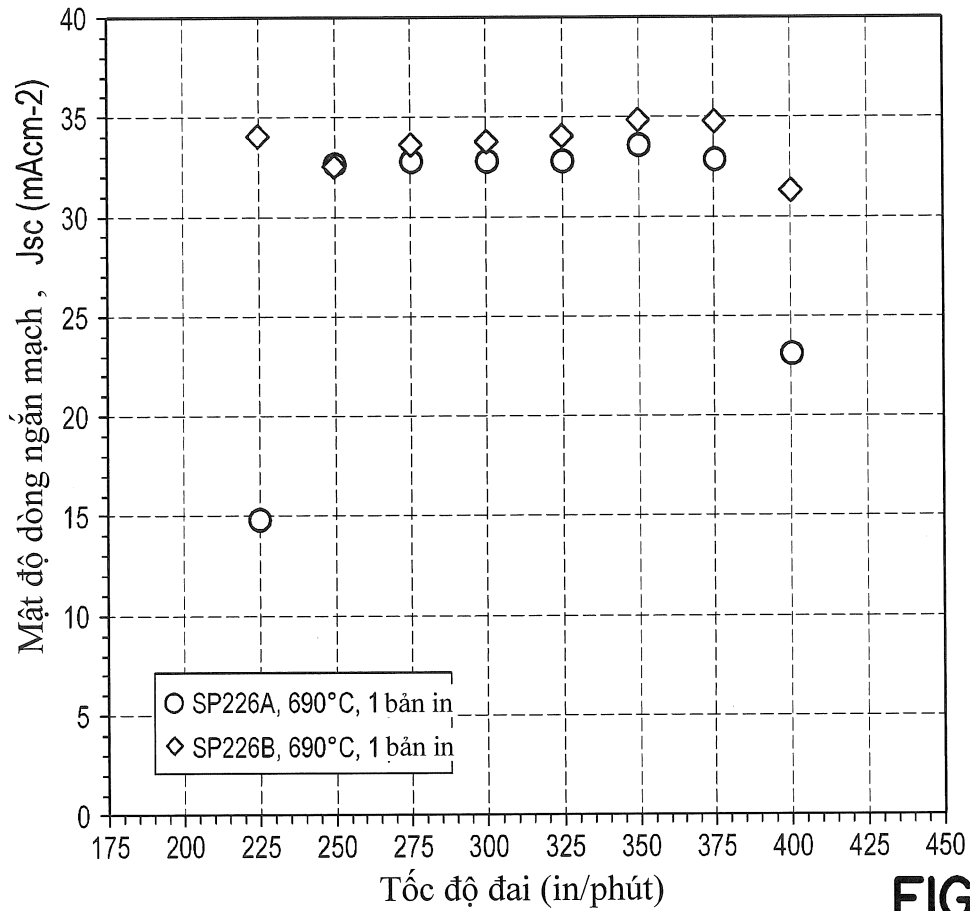


FIG. 34A

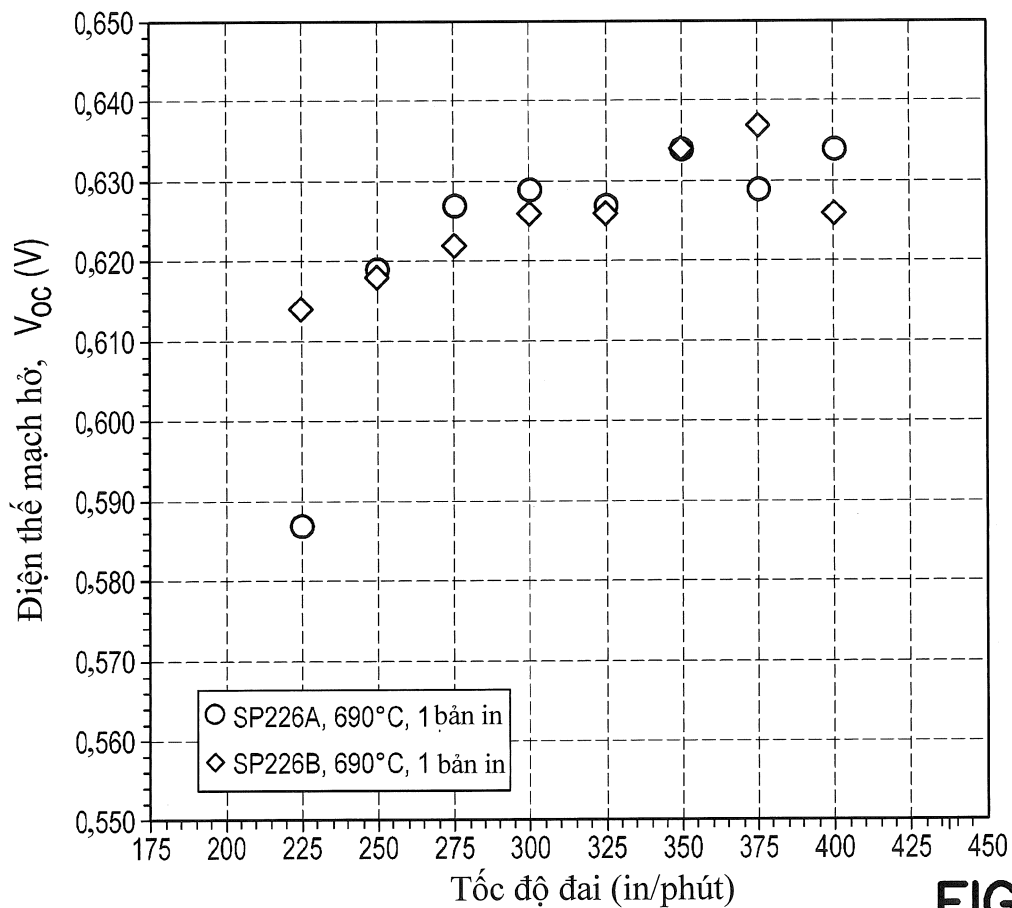


FIG. 34B

85/95

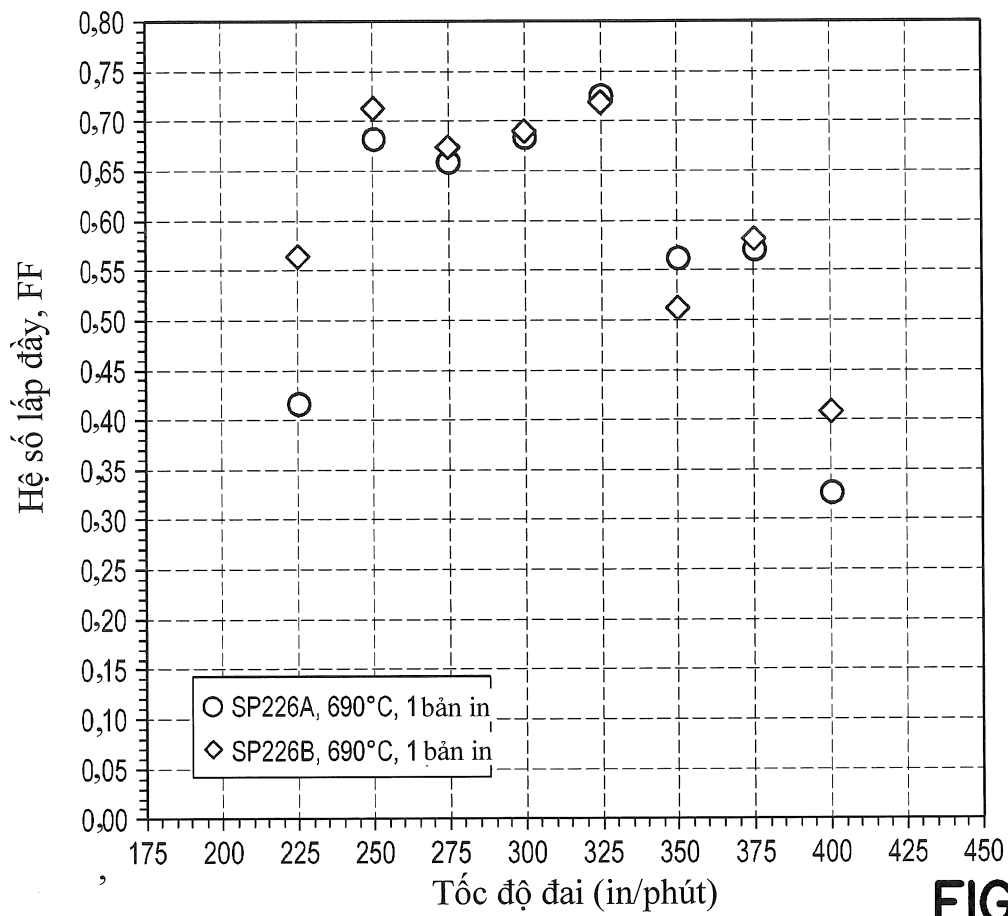


FIG. 34C

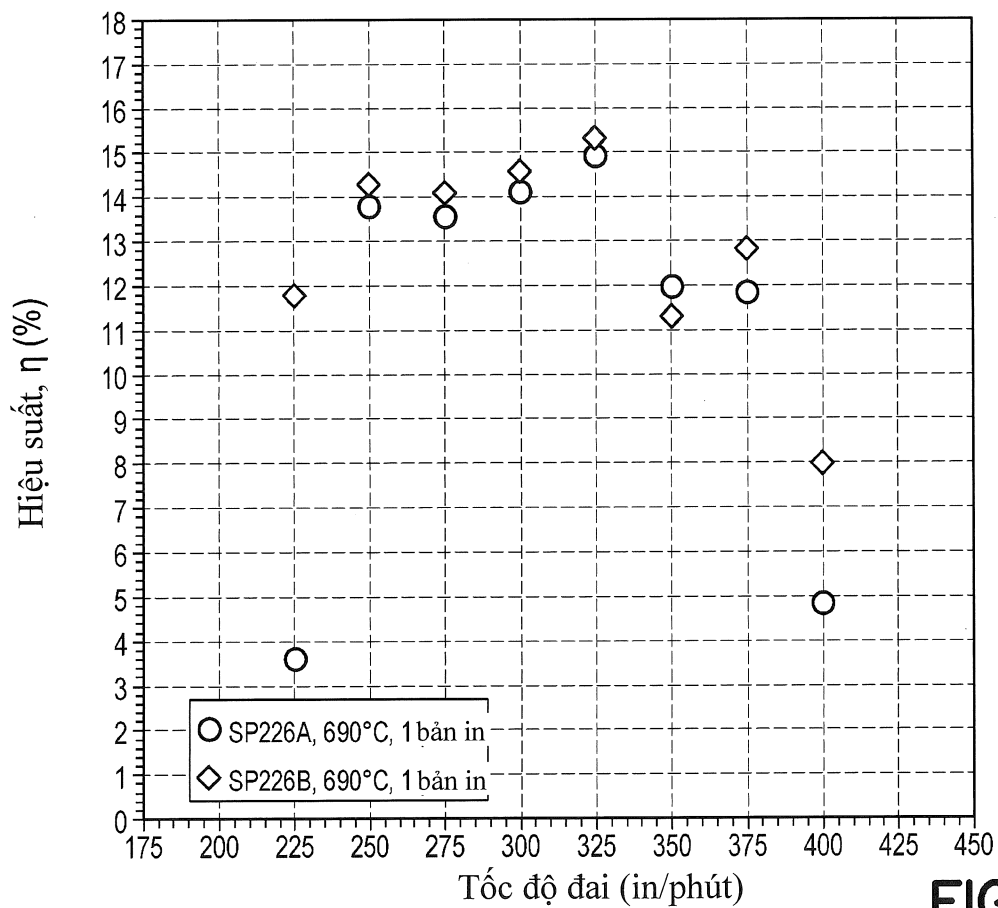


FIG. 34D

86/95

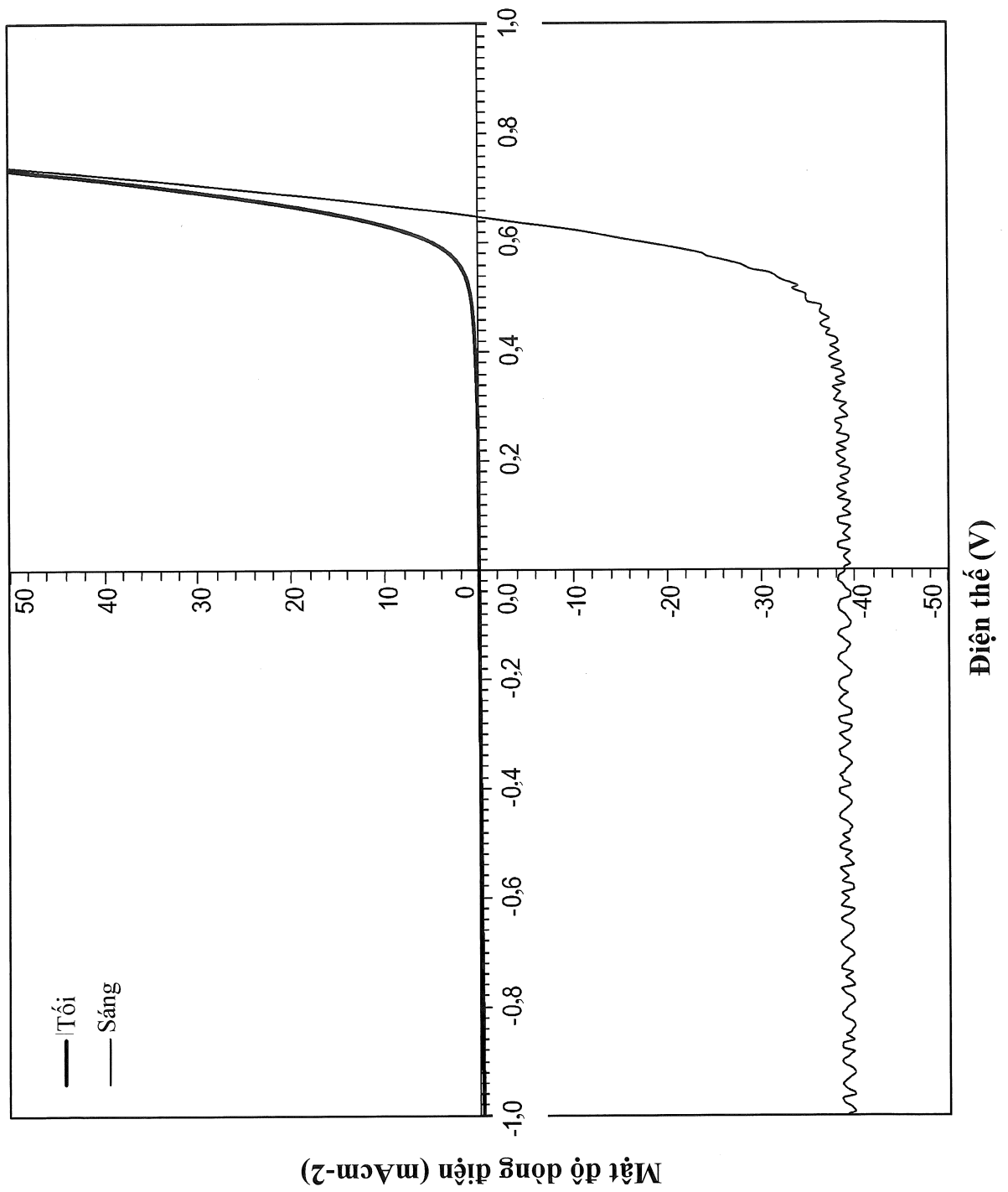


FIG. 35

87/95

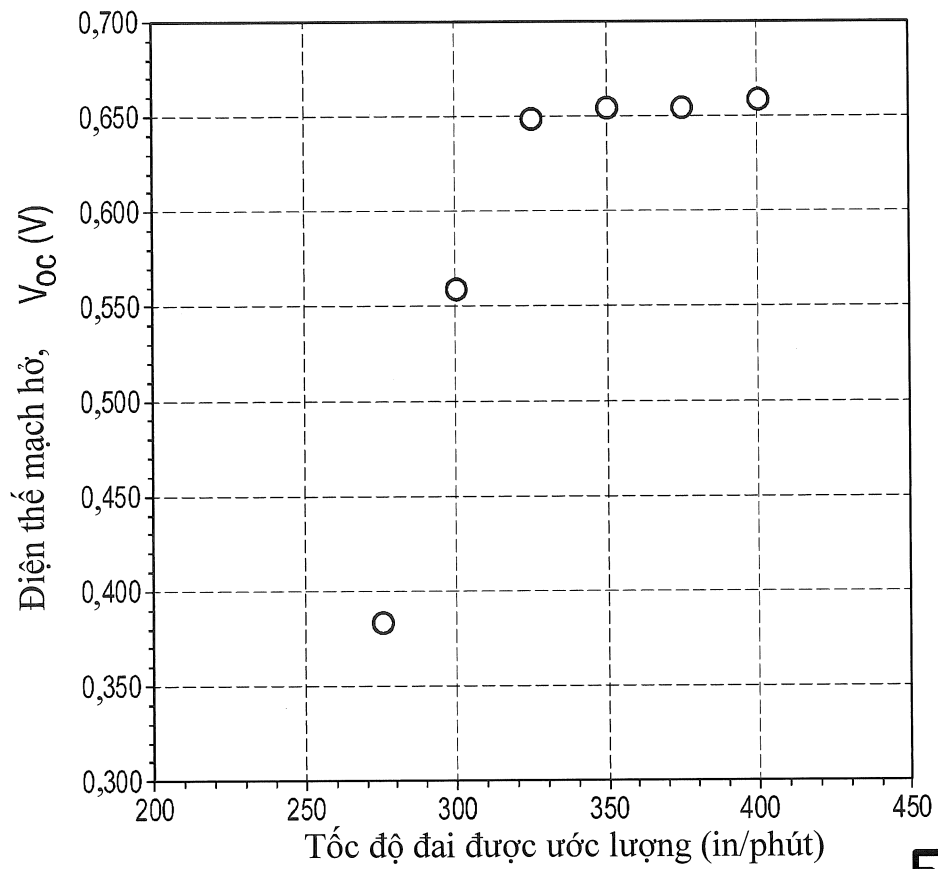


FIG. 36A

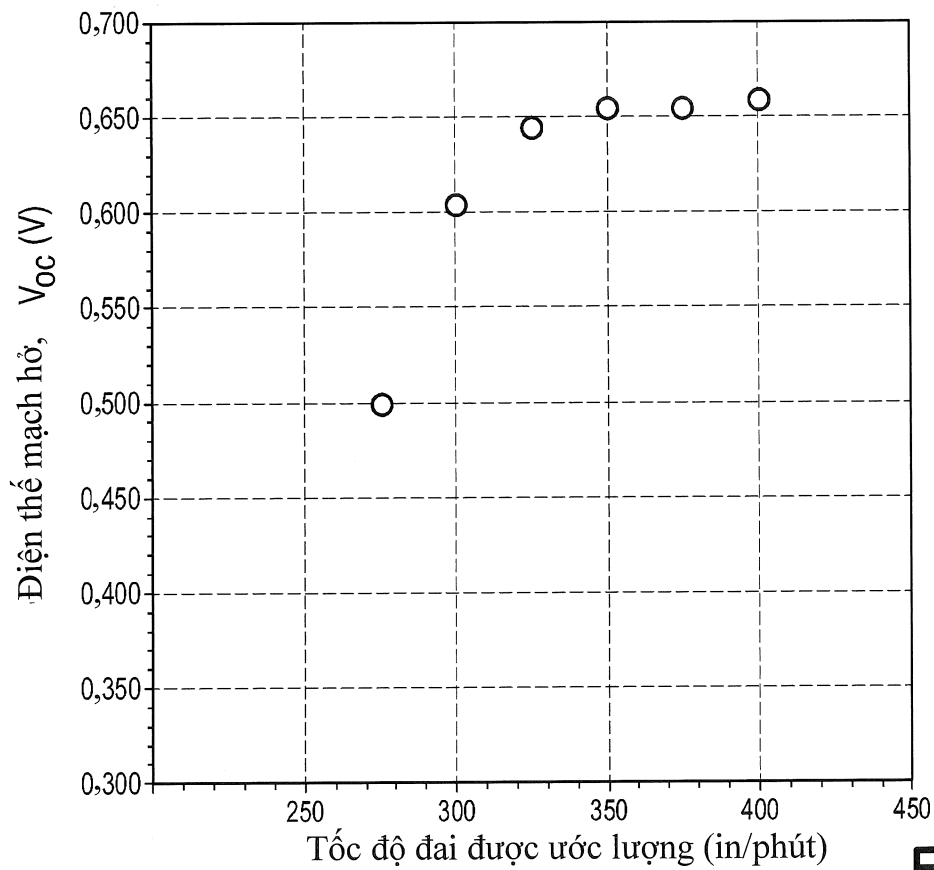
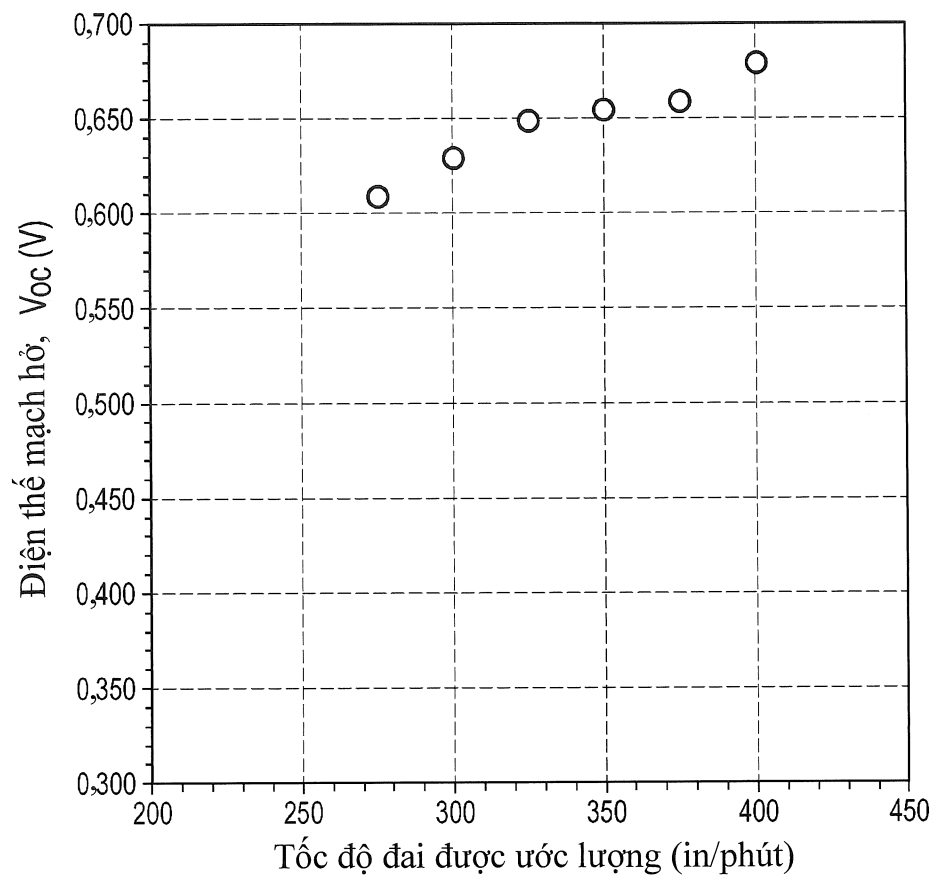


FIG. 36B

88/95

**FIG. 36C**

89/95

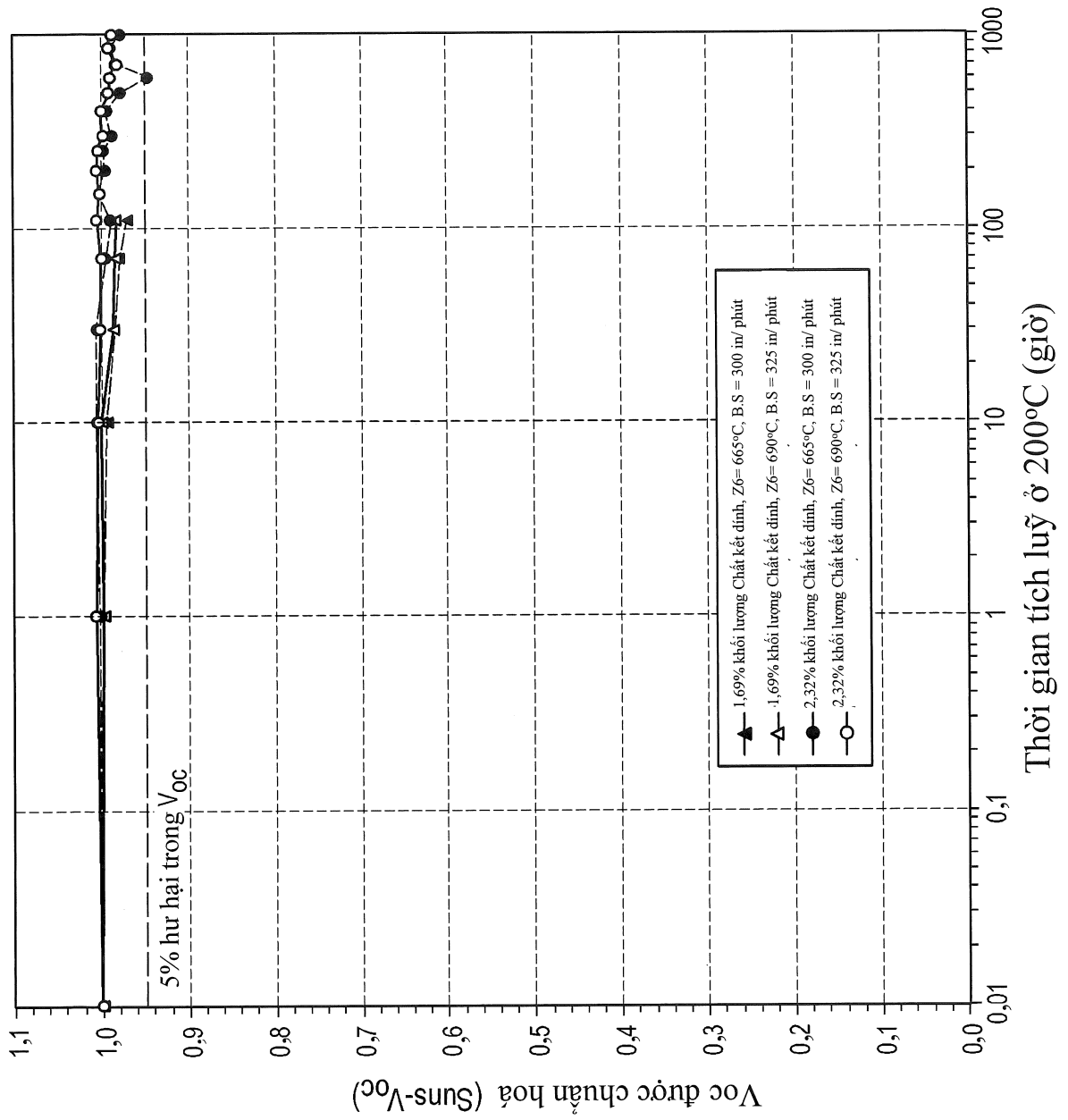


FIG. 37A

90/95

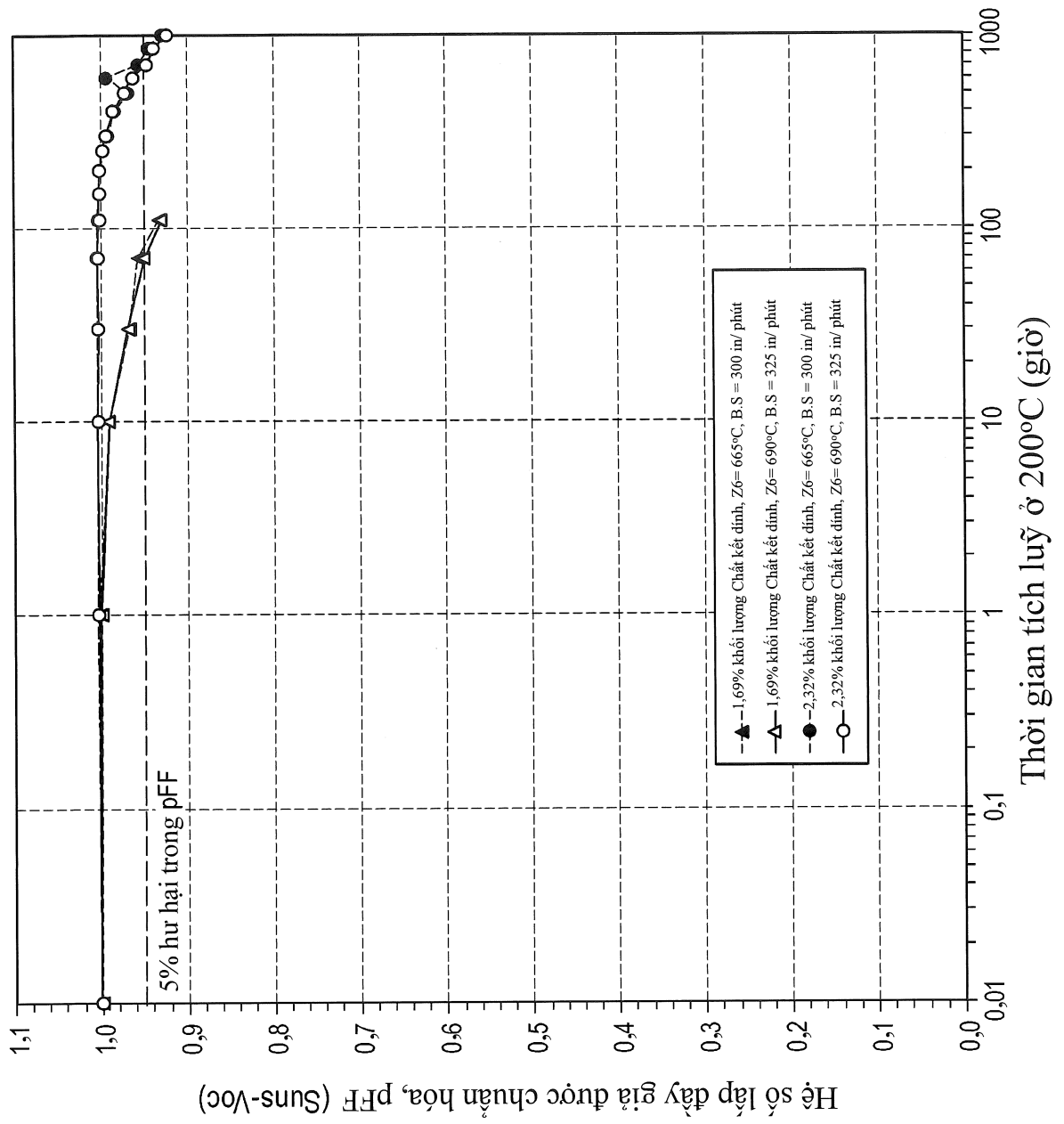
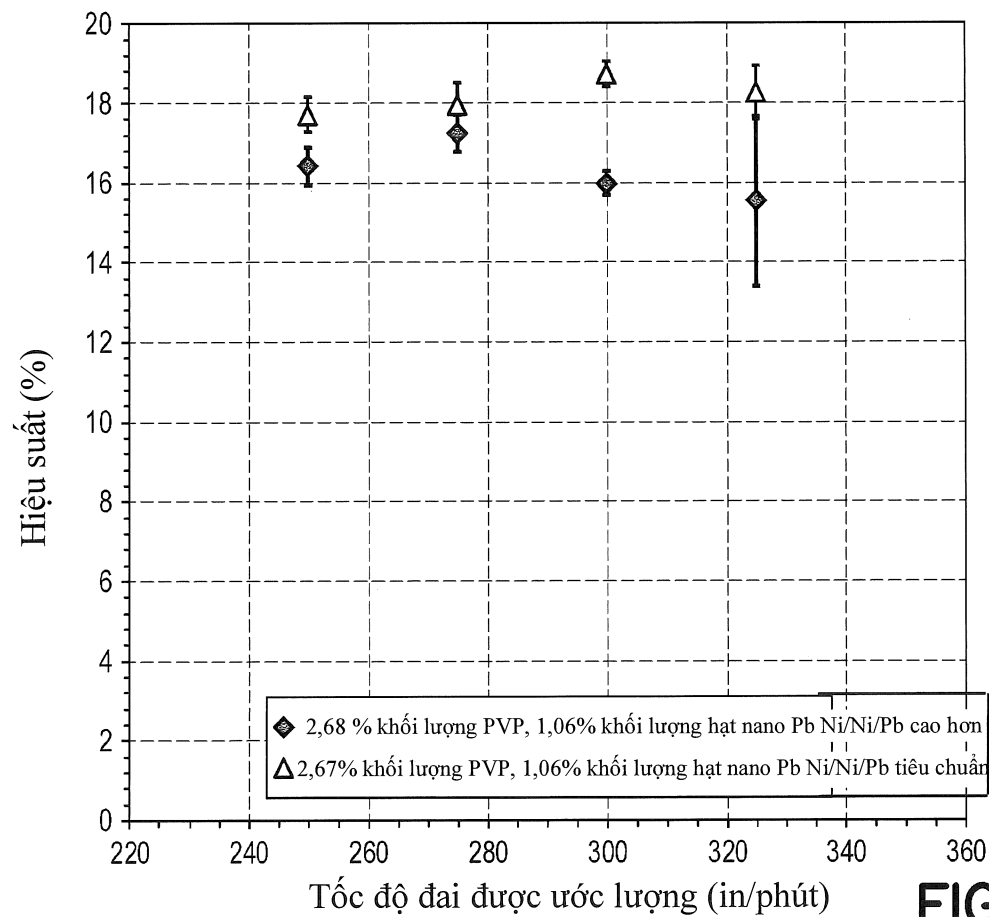
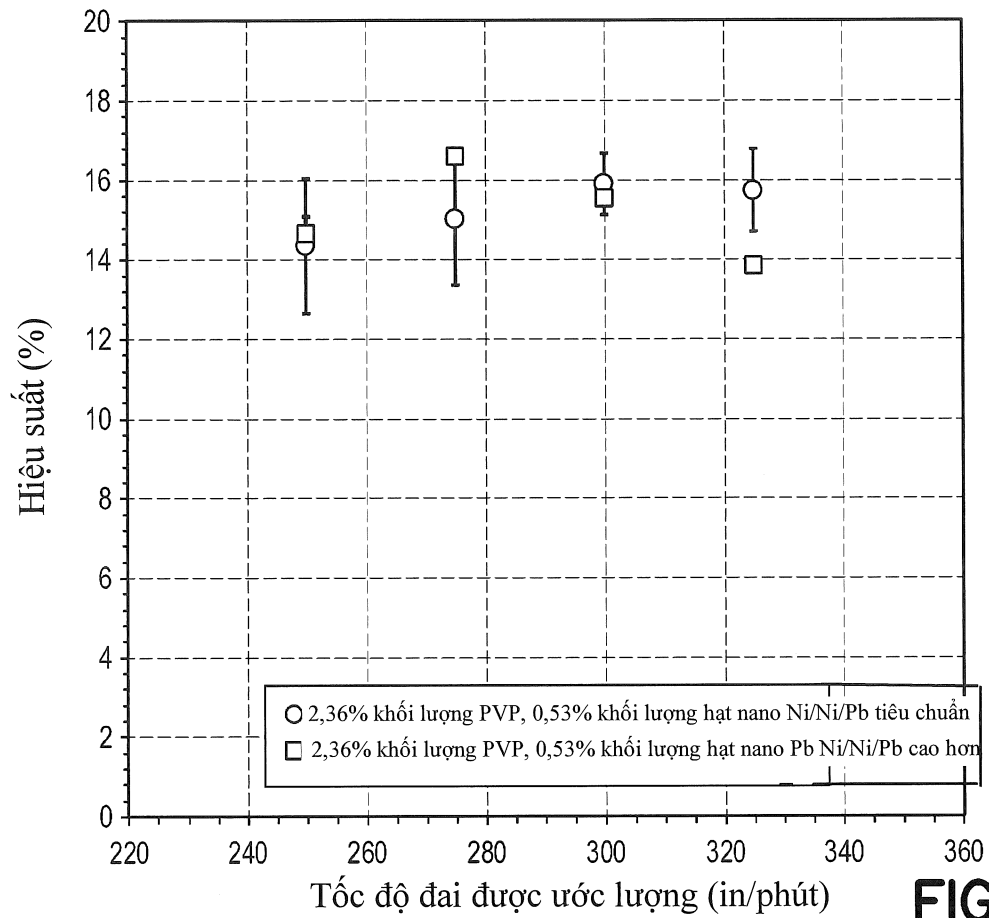


FIG. 37B

91/95



92/95

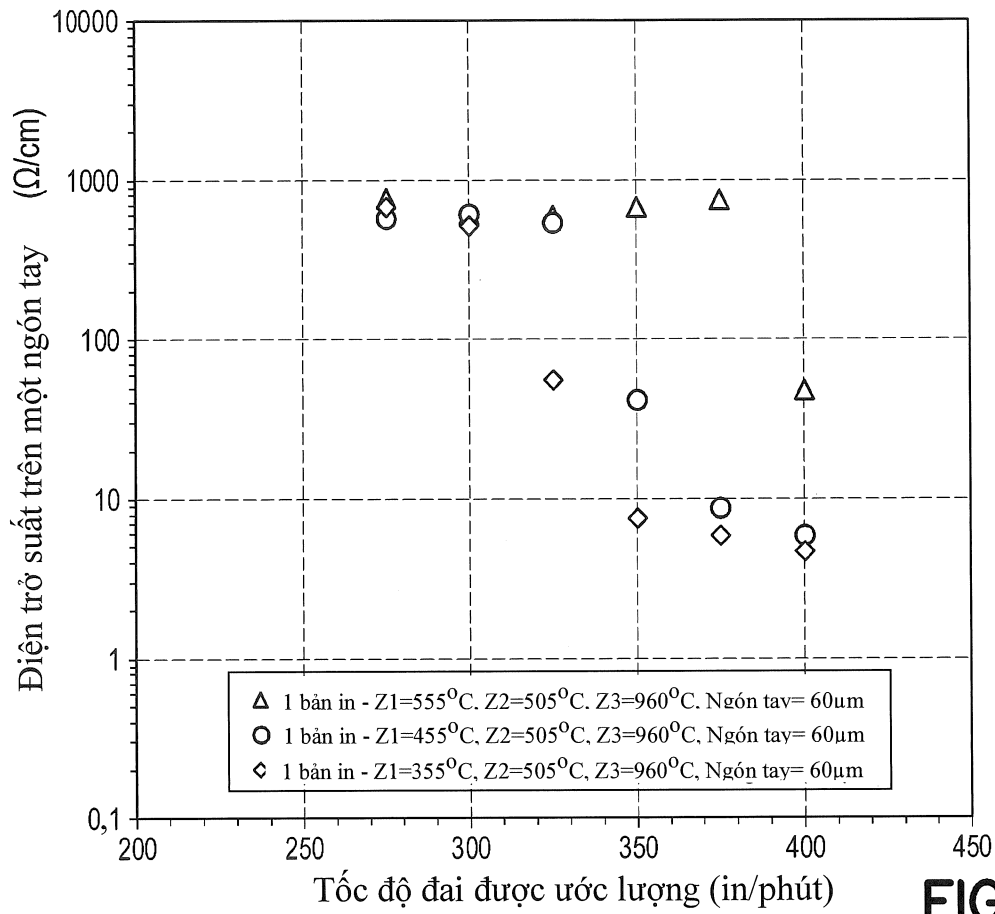


FIG. 39A

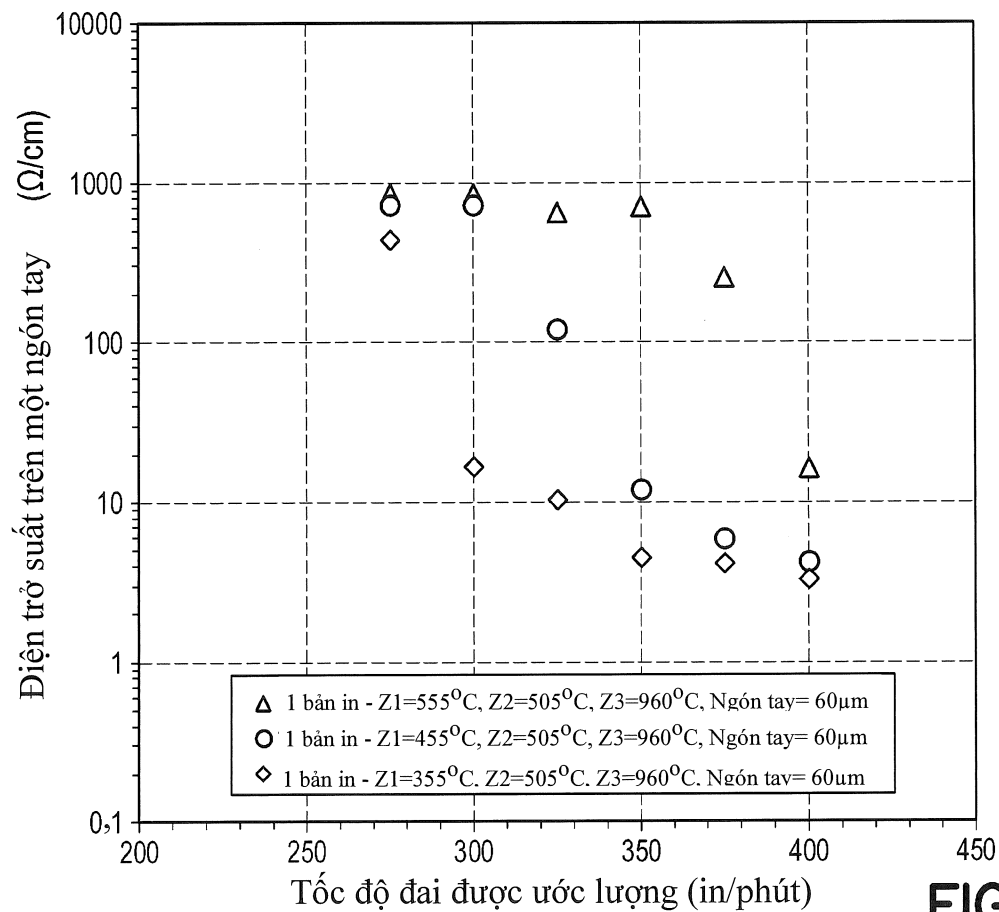


FIG. 39B

93/95

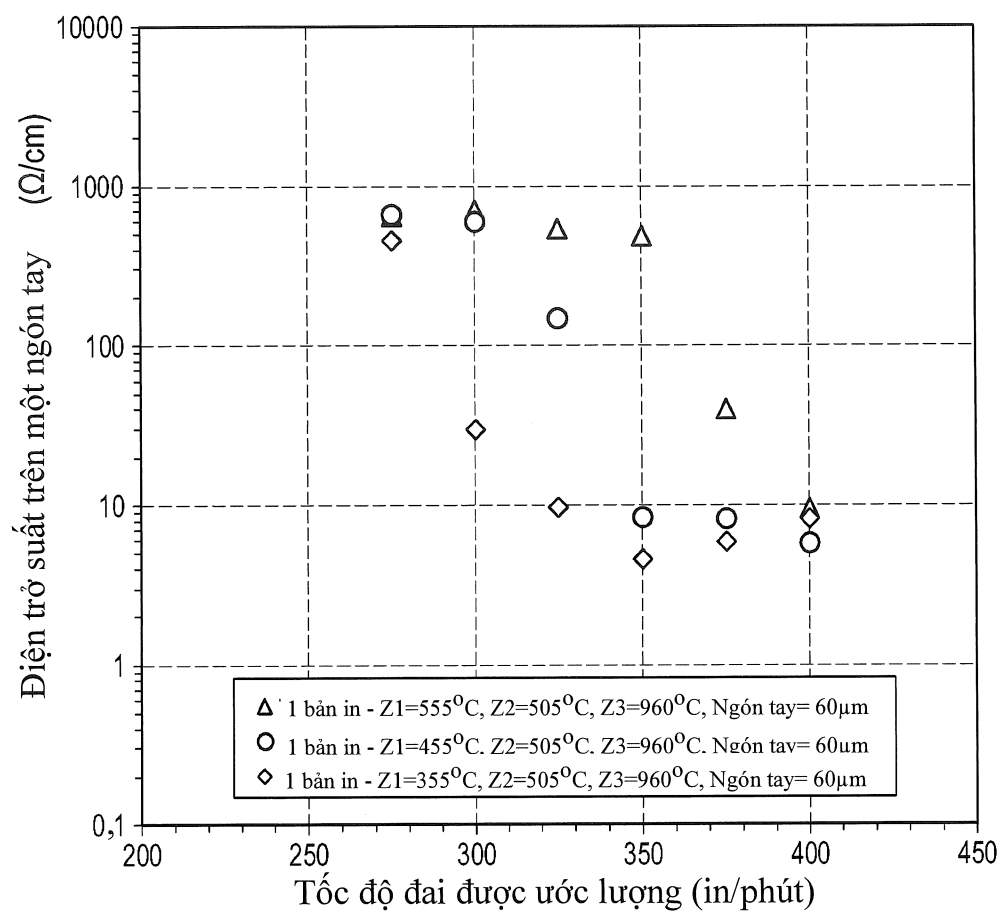


FIG. 39C

94/95

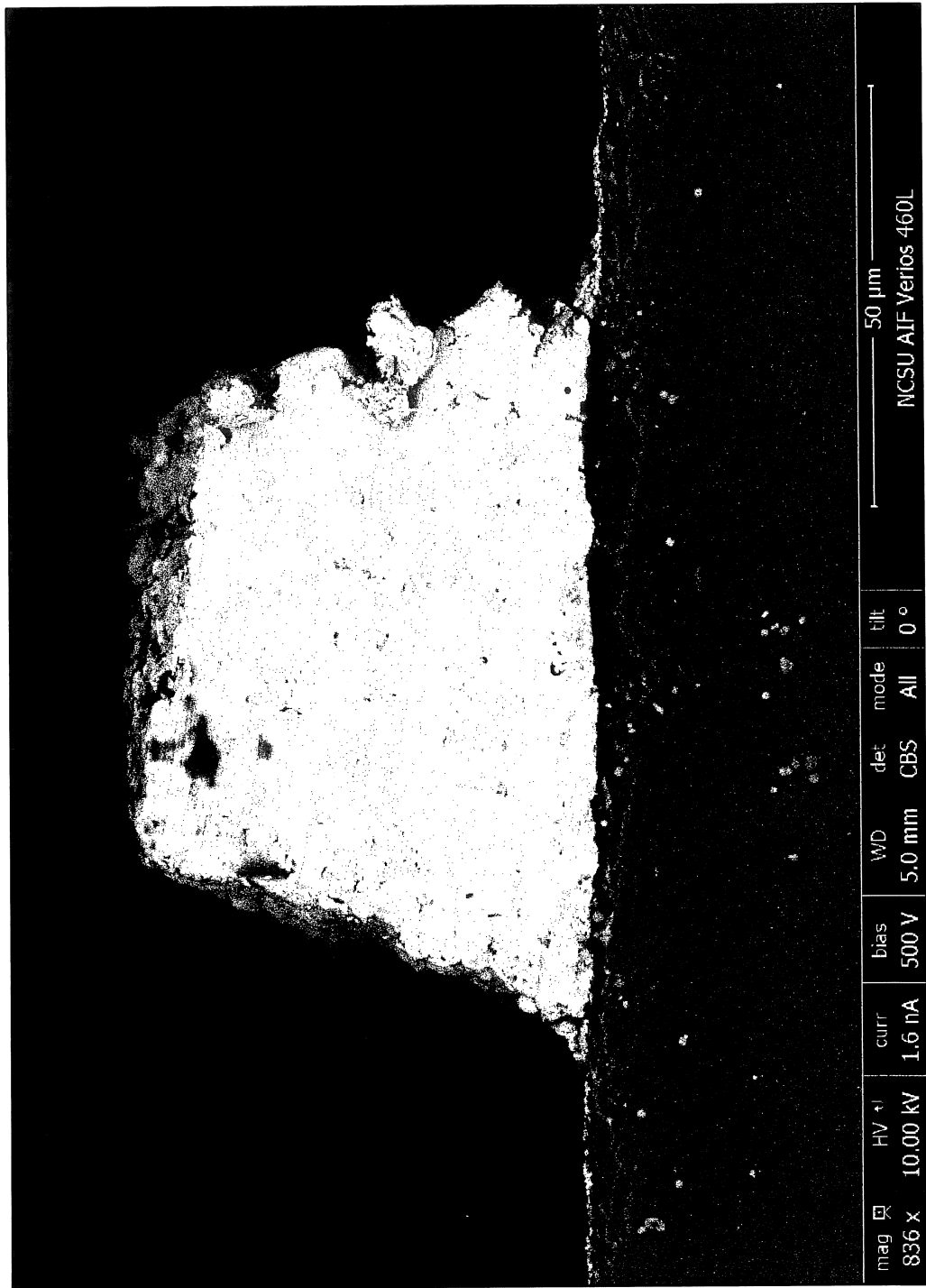


FIG. 40

95/95

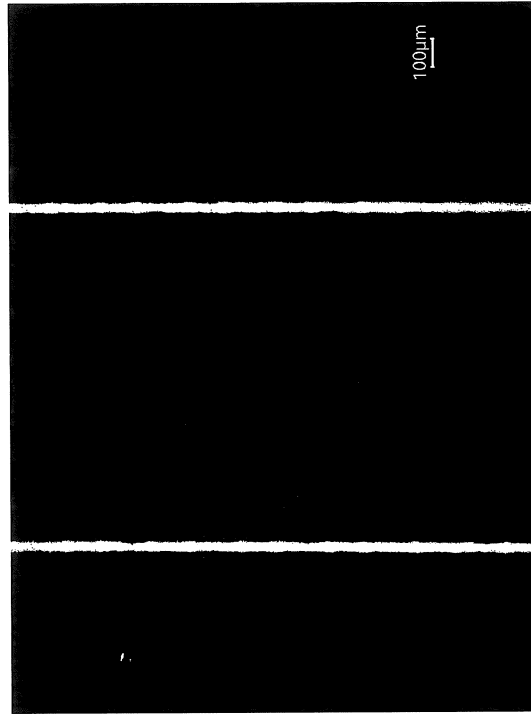


FIG. 41B

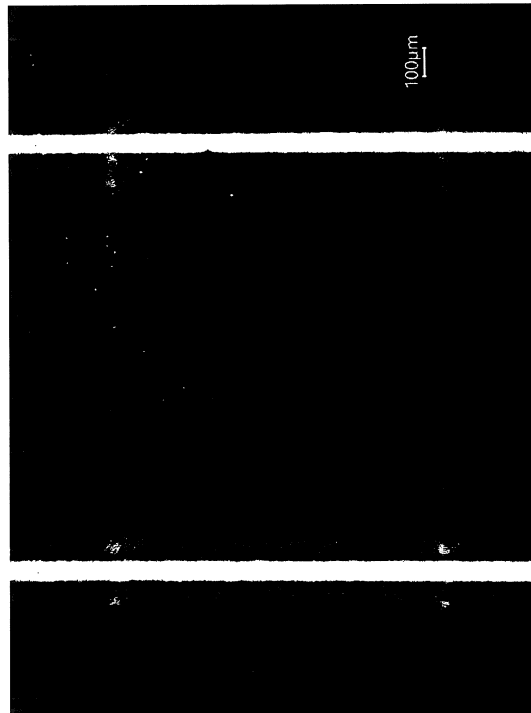


FIG. 41A