



(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)



1-0038300

(51)^{2020.01} C03B 33/02; B23K 26/38; C03B 33/09; (13) B
C03B 33/04; B23K 26/00

(21) 1-2021-00944

(22) 16/12/2014

(62) 1-2016-02636

(86) PCT/US2014/070531 16/12/2014

(87) WO2015/095151 25/06/2015

(30) 61/917,148 17/12/2013 US; 62/022,855 10/07/2014 US; 14/536,009 07/11/2014 US

(45) 25/01/2024 430

(43) 25/10/2021 403

(73) CORNING INCORPORATED (US)

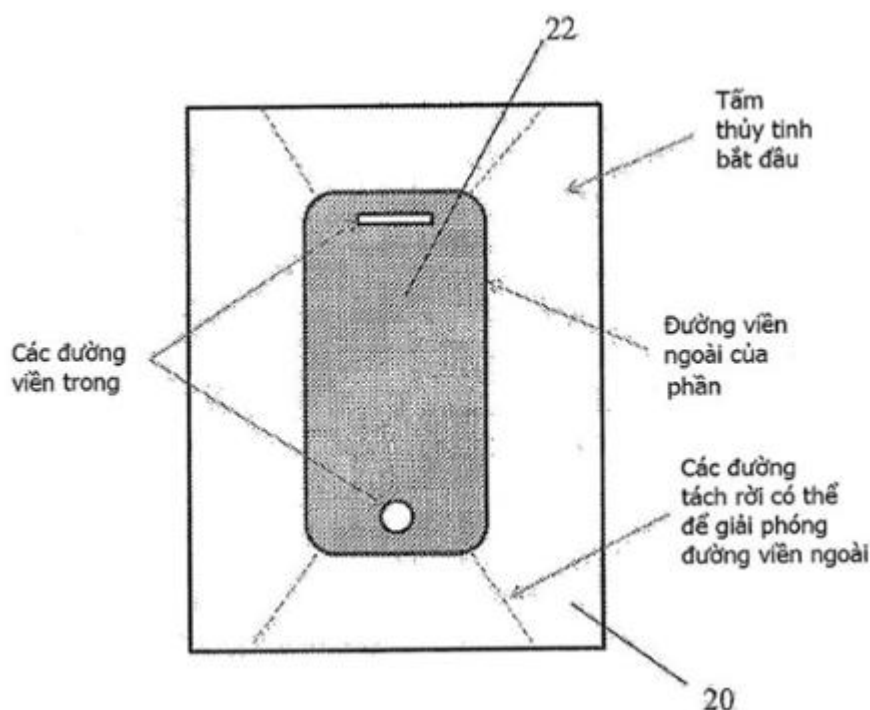
1 Riverfront Plaza, Corning, New York 14831, United States of America

(72) HACKERT, Thomas (DE); MARJANOVIC, Sasha (US); PIECH, Garrett Andrew (US); TSUDA, Sergio (BR); WAGNER, Robert Stephen (US).

(74) Công ty Luật TNHH T&G (TGVN)

(54) PHƯƠNG PHÁP TẠO THÀNH VẬT PHẨM BẰNG THỦY TINH, VÀ VẬT PHẨM BẰNG THỦY TINH ĐƯỢC TẠO RA BỞI PHƯƠNG PHÁP NÀY

(57) Sáng chế đề cập đến phương pháp cắt và tách rời các đường viền bên trong trên các bề mặt mỏng của các vật liệu trong suốt, cụ thể là thủy tinh. Phương pháp liên quan đến việc sử dụng laser xung cực ngắn để tạo thành lỗ thủng hoặc các lỗ trong nền, mà có thể theo sau với việc sử dụng chùm laser CO₂ để thúc đẩy sự tách rời hoàn toàn quanh đường được đục thủng. Ngoài ra, sáng chế còn đề cập đến phương pháp tạo thành vật phẩm bằng thủy tinh, và vật phẩm bằng thủy tinh được tạo ra bởi phương pháp này.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến phương pháp xử lý laze đối với vật liệu thủy tinh và vật phẩm bằng thủy tinh được tạo ra bởi phương pháp này.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Quy trình cắt các lỗ và rãnh trên các bề mặt mỏng của các vật liệu trong suốt, như thủy tinh, có thể được thực hiện nhờ các chùm laze được hội tụ, các chùm laze được hội tụ này được sử dụng để cắt bỏ vật liệu dọc theo đường viền của lỗ hoặc rãnh, trong đó nhiều đường dẫn được sử dụng để lấy từng lớp vật liệu ra cho đến khi nút trong không còn được gắn vào miếng nền ngoài. Vấn đề đối với các quy trình này là chúng yêu cầu nhiều đường dẫn (hàng tá hoặc thậm chí còn nhiều hơn nữa) của chùm laze để lấy vật liệu ra theo từng lớp, chúng tạo ra mảnh vụn cắt gọt đáng kể mà sẽ làm bẩn các bề mặt của phần, và chúng tạo ra nhiều hư hại dưới bề mặt ($>100\text{ }\mu\text{m}$) dọc theo mép của đường viền.

Do đó, cần có quy trình được cải tiến để cắt các lỗ và rãnh.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Các phương án được mô tả ở đây đề cập quy trình cắt và tách rời các đường viền bên trong trên các bề mặt mỏng của các vật liệu trong suốt, cụ thể là thủy tinh.

Theo một phương án, phương pháp khoan laze đối với vật liệu bao gồm bước hội tụ chùm laze xung (pulsed laser beam) vào trong đường tiêu chùm laze (laser beam focal line), được quan sát dọc theo hướng lan truyền chùm, hướng đường tiêu chùm laze vào trong vật liệu ở vị trí thứ nhất, đường tiêu chùm laze tạo ra sự hấp thụ cảm ứng (induced absorption) bên trong vật liệu, sự hấp thụ cảm ứng tạo lỗ dọc theo đường tiêu chùm laze bên trong vật liệu, dịch vật liệu và chùm laze xung so với nhau bắt đầu từ vị trí thứ nhất dọc theo đường viền kín thứ nhất, theo đó khoan laze nhiều lỗ dọc theo đường viền kín thứ nhất bên trong vật liệu, dịch vật liệu và chùm laze xung so với nhau bắt đầu từ vị trí thứ nhất dọc theo đường viền kín thứ nhất, theo đó khoan laze nhiều lỗ dọc theo đường viền kín thứ nhất bên trong vật liệu, và hướng laze cacbon đioxit (CO_2) vào trong vật

liệu xung quanh đường viền kín thứ hai được chứa trong đường viền kín thứ nhất để tạo thuận lợi cho việc lấy nút trong của vật liệu ra dọc theo đường viền kín thứ nhất.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ kèm theo

Đơn đăng ký hoặc bằng sáng chế này chứa ít nhất một hình vẽ màu. Các bản sao của bằng sáng chế hoặc công bố đơn sáng chế này cùng với (các) hình vẽ màu sẽ được cung cấp bởi Cục khi có yêu cầu và đóng lệ phí theo quy định.

Sáng chế sẽ trở nên rõ ràng khi xem phần mô tả chi tiết sau đây về các phương án làm ví dụ của sáng chế, như được minh họa trên các hình vẽ kèm theo trong đó các ký tự chỉ dẫn giống nhau chỉ các phần giống nhau trên toàn bộ các hình vẽ khác nhau. Các hình vẽ không nhất thiết được vẽ theo tỷ lệ, thay vào đó có thể nhấn mạnh khi minh họa các phương án của sáng chế.

Fig.1 là hình vẽ minh họa phần cần được cắt ra từ tấm bắt đầu. Phần này có cả đường viền ngoài và đường viền trong. Đường viền ngoài có thể được nhả một cách dễ dàng khỏi tấm mẹ nhờ thêm vào các đường cắt bổ sung hoặc “các đường nhả”.

Fig.2A và Fig.2B là các hình vẽ minh họa việc định vị của đường tiêu chùm laze, nghĩa là, việc xử lý của vật liệu trong suốt đối với bước sóng laze do sự hấp thụ cảm ứng dọc theo đường tiêu.

Fig.3A là hình vẽ minh họa cụm thiết bị quang học để khoan laze.

Fig.3B-1 đến Fig.3B-4 là các hình vẽ minh họa các khả năng khác nhau để xử lý nền nhờ định vị đường tiêu chùm laze theo cách khác nhau so với nền.

Fig.4 là hình vẽ minh họa cụm thiết bị quang học thứ hai để khoan laze.

Fig.5A và Fig.5B là các hình vẽ minh họa cụm thiết bị quang học thứ ba để khoan laze.

Fig.6 là sơ đồ minh họa cụm thiết bị quang học thứ tư để khoan laze.

Fig.7A-Fig.7C là các hình vẽ minh họa các chế độ khác nhau để xử lý laze đối với các vật liệu. Fig.7A minh họa chùm laze không được hội tụ, Fig.7B minh họa chùm laze được ngưng tụ bởi thấu kính hình cầu, và Fig.7C minh họa chùm laze được ngưng tụ bởi thấu kính Fresnel nhiễu xạ hoặc thấu kính axicon.

Fig.8A là sơ đồ minh họa cường độ tương đối của các xung laser trong nhóm xung (pulse burst) làm ví dụ so với thời gian, với mỗi nhóm xung làm ví dụ có 3 xung.

Fig.8B là sơ đồ minh họa cường độ tương đối của các xung laser so với thời gian trong nhóm xung làm ví dụ, với mỗi nhóm xung làm ví dụ chứa 5 xung.

Fig.8C là hình vẽ mô tả các đường dẫn và các bước laser khác nhau được vạch để tạo thành đường viền trong và lấy ra vật liệu bên trong đường viền này.

Fig.9 là hình vẽ mô tả đường dẫn và bước laser CO₂ được vạch để lấy ra vật liệu bên trong đường viền.

Fig.10 là hình vẽ thể hiện ví dụ về lỗ và rãnh được cắt và sau đó được tách rời khỏi mẫu dày 0,7 mm. Lỗ và rãnh đã được cắt và lấy ra bằng cách sử dụng quy trình theo sáng chế.

Fig.11 là hình vẽ được tạo góc của mép bên trong của rãnh được tạo thành bởi quy trình được mô tả trong bản mô tả này, sau khi quy trình cắt bỏ CO₂ đã được sử dụng để lấy vật liệu bên trong ra.

Fig.12 là hình vẽ mép của dải cắt thẳng có nền dày Corning 2320 NIOX (không trao đổi ion) có chiều dày 0,7 mm, đường viền bên ngoài. Mép này có thể được so sánh với mép rất tương tự được thể hiện trên Fig.11.

Fig.13 là hình chiếu bằng của mép cắt của rãnh được tạo ra bởi quy trình được mô tả trong bản mô tả này. Không quan sát được sự trầy xước hoặc rạn nứt trên mép của đường viền. Đường viền này có bán kính khoảng 2 mm.

Fig.14A-Fig.14C là các hình vẽ minh họa đường đứt gãy (hoặc đường được đục thủng) với các đường khuyết hoặc các dấu vết hư hại (damage track) được đặt cách đều của thủy tinh được biến đổi.

Mô tả chi tiết sáng chế

Sau đây là phần mô tả các phương án làm ví dụ.

Sáng chế đề xuất quy trình để cắt và tách rời các đường viền bên trong trên các bề mặt mỏng của các vật liệu trong suốt, cụ thể là thủy tinh. Phương pháp liên quan đến việc sử dụng laser xung cực ngắn để tạo thành lỗ thủng hoặc các lỗ trong nền, mà có thể

theo sau với việc sử dụng chùm laze CO₂ để thúc đẩy sự tách rời hoàn toàn quanh đường được đục thủng. Quy trình laze được mô tả sau đây tạo ra các vết cắt trên toàn bộ thân của nhiều loại thủy tinh trong một đường dẫn, với hư hại dưới bề mặt thấp ($<75\text{ }\mu\text{m}$), và độ nhám bề mặt rất tốt ($R_a < 0,5\text{ }\mu\text{m}$). SSD (sub-surface damage - hư hại dưới bề mặt) được định nghĩa là phạm vi của các vết nứt hoặc “vết rạn nứt” vuông góc với mép cắt của miếng thủy tinh. Độ lớn của khoảng cách mà các vết nứt này mở rộng vào trong miếng thủy tinh có thể xác định lượng vật liệu lấy ra sau mà có thể cần thiết từ các hoạt động mài và đánh bóng mà được sử dụng để cải thiện độ bền mép thủy tinh. SSD có thể được đo nhờ sử dụng kính hiển vi đồng tiêu đối với ánh sáng quan sát mà tán xạ từ các vết nứt, và xác định khoảng cách lớn nhất mà các vết nứt mở rộng vào trong thân của thủy tinh qua mép cắt đã cho.

Một phương án theo sáng chế đề cập đến phương pháp để cắt và tách rời các đường viền bên trong trong các vật liệu như thủy tinh, bởi quy trình tách rời mà để lộ ra mép có chất lượng cao được tạo ra bởi quy trình đục thủng nêu trên mà không làm hư hại nó bởi quy trình tách rời. Khi một phần được cắt ra khỏi tấm bắt đầu của nền, nó có thể bao gồm các đường viền ngoài hoặc trong, như được thể hiện trên Fig.1. Việc nhả đường viền ngoài của phần khỏi tấm có thể được thực hiện nhờ thêm vào các đường cắt bổ sung được biết đến là “các đường nhả”, như được thể hiện trên Fig.1. Tuy nhiên, đối với các đường viền bên trong, không thể tạo ra các đường nhả, do chúng sẽ làm hỏng phần được quan tâm. Trong một số trường hợp, đối với các vật liệu chịu ứng suất cao và các đường viền bên trong đủ lớn, phần trong có thể tự tách rời và rơi ra. Tuy nhiên, đối với các lỗ và rãnh nhỏ (ví dụ, các lỗ 10 mm, các rãnh có chiều rộng nhỏ hơn vài mm, ví dụ $\leq 3\text{ mm}$, hoặc $\leq 2\text{ mm}$, hoặc thậm chí $\leq 1\text{ mm}$), kể cả đối với các vật liệu chịu ứng suất, phần trong sẽ không rơi ra. Lỗ thường được tạo thành như hình tròn, hoặc tiết diện có nét đặc trưng về cơ bản là hình tròn. Ngược lại, các rãnh thường có các nét đặc trưng elip cao, như các nét đặc trưng có các tỷ lệ phương diện (ví dụ, theo tiết diện hoặc khi quan sát, ví dụ, từ phía trên hoặc dưới) của chiều dài so với chiều rộng $>4:1$, đặc trưng là $\geq 5:1$, ví dụ 1,5 mm x 15 mm, hoặc 3 mm x 15 mm, hoặc 1 mm x 10 mm, hoặc 1,5 mm so với 7 mm, v.v.. Các rãnh có thể có các góc được làm tròn đầu, hoặc các góc có thể là các nét đặc trưng nhọn (90 độ).

Thách thức đối với việc tách rời đường viền bên trong, như lỗ trong miếng thủy tinh được yêu cầu cho nút “home” hoặc nút nguồn trên điện thoại thông minh, đó là kể cả nếu đường viền được đục thủng tốt và vết nứt lan truyền xung quanh nó, nứt trong của vật liệu có thể chịu áp suất nén và bị khóa tại chỗ bởi vật liệu bao quanh nút. Điều này có nghĩa là phần thách thức là quy trình nhả tự động để cho phép nút rơi ra. Vấn đề này xảy ra bất chấp việc vật liệu cần được cắt có ứng suất cao và dễ tạo thành các vết nứt hay không, như trong trường hợp của nền thủy tinh gia cường hóa học như Gorilla® Glass, hoặc nếu vật liệu có ứng suất thấp, như trong trường hợp của thủy tinh Eagle XG®. Thủy tinh ứng suất cao là thủy tinh có sức căng trung tâm (ở tâm của chiều dày của thủy tinh) lớn hơn khoảng 24 MPa; trong khi thủy tinh ứng suất thấp thường có sức căng trung tâm nhỏ hơn khoảng 24 MPa.

Nói chung, sáng chế đề xuất thiết bị và phương pháp dùng laze để cắt và tách rời chính xác các hình dạng tùy ý ra khỏi các nền thủy tinh theo cách có thể kiểm soát, với mảnh vỡ không đáng kể và hư hại nhỏ nhất đối với các mép phần mà bảo toàn độ bền. Phương pháp dùng laze được phát triển dựa vào độ trong suốt của vật liệu đối với bước sóng laze trong chế độ tuyến tính, hoặc cường độ laze thấp, nó cho phép duy trì chất lượng bề mặt sạch và mới nguyên và vào hư hại dưới bề mặt giảm được tạo ra bởi khu vực có cường độ cao xung quanh tiêu điểm laze. Một trong các yếu tố cho phép chính của quy trình này là tỷ lệ phương diện cao của phần khuyết được tạo ra bởi laze xung cực ngắn. Nó cho phép tạo ra đường đứt gãy mà mở rộng từ bề mặt trên cùng đến bề mặt dưới cùng của vật liệu cần được cắt. Về cơ bản, phần khuyết này có thể được tạo ra bởi xung laze đơn và nếu cần thiết, các xung bổ sung có thể được sử dụng để tăng sự mở rộng của khu vực bị ảnh hưởng (chiều sâu và chiều rộng).

Nhờ sử dụng thiết bị quang học và laze pico giây xung ngắn mà tạo ra đường tiêu, đường viền kín được đục thủng trong tấm thủy tinh. Các phần đục thủng có đường kính nhỏ hơn vài micromet, khoảng đặt cách đặc trưng của các phần đục thủng nằm trong khoảng từ 1 đến 15 μm , và các phần đục thủng đi qua toàn bộ tấm thủy tinh.

Để tạo ra chỗ yếu để tạo thuận lợi cho việc lấy vật liệu ra, đường viền bổ sung sau đó có thể được đục thủng theo cách tùy chọn bởi cùng quy trình một vài trăm micromet vào phần bên trong của đường viền thứ nhất.

Chùm laze CO₂ được hội tụ, có mật độ công suất đủ cao để cắt bỏ vật liệu thủy tinh, sau đó được vạch xung quanh đường viền thứ hai, làm cho vật liệu thủy tinh phân mảnh và được lấy ra. Một hoặc nhiều đường dẫn của laze có thể được sử dụng. Khí hỗ trợ áp suất cao cũng được ép ra thông qua vòi cộng tuyến với chùm CO₂, để cung cấp lực bổ sung để dẫn vật liệu thủy tinh ra khỏi miếng thủy tinh lớn hơn.

Phương pháp để cắt và tách rời các vật liệu trong suốt về cơ bản dựa trên việc tạo ra đường đứt gãy trên vật liệu cần được xử lý bởi laze xung cực ngắn. Tùy thuộc vào các thuộc tính vật liệu (sự hấp thụ, CTE, ứng suất, thành phần, v.v.) và các thông số laze được chọn để xử lý vật liệu được xác định đó, chỉ riêng việc tạo ra đường đứt gãy có thể là đủ để gây ra sự tự tách rời. Đây là trường hợp cho các thủy tinh gia cường nhiều nhất (các thủy tinh mà đã trải qua trao đổi ion trước khi cắt) mà có sức căng trong hoặc sức căng trung tâm (CT - central tension) đáng kể (nghĩa là, lớn hơn khoảng 24 MPa). Trong trường hợp này, các quy trình tách rời phụ, như các lực căng/uốn hoặc laze CO₂, là không cần thiết.

Trong một số trường hợp, đường đứt gãy được tạo ra không đủ để tách rời thủy tinh theo cách tự động. Đây thường là trường hợp cho các thủy tinh hiển thị như Eagle XG®, Lotus, hoặc các thủy tinh có thể trao đổi ion mà được cắt trước bước trao đổi ion bất kỳ. Theo đó, bước xử lý phụ có thể là cần thiết. Nếu mong muốn như vậy, ví dụ có thể sử dụng laze thứ hai để tạo ra ứng suất nhiệt để tách rời nó. Trong trường hợp Corning mã 2320 NIOX (Gorilla® Glass 3 không trao đổi ion), tác giả sáng chế đã nhận thấy là có thể đạt được sự tách rời, sau khi tạo ra đường khuyết, nhờ tác dụng lực cơ học hoặc nhờ vạch đường đứt gãy hiện có bởi chùm laze CO₂ hồng ngoại để tạo ra ứng suất nhiệt và ép các phần tự tách rời. Một tùy chọn khác là cho laze CO₂ chỉ bắt đầu sự tách rời và hoàn thành sự tách rời theo cách thủ công. Sự tách rời bằng laze CO₂ tùy chọn đạt được bởi laze sóng liên tục lệch tiêu (defocused) (nghĩa là kích thước vết ở thủy tinh có đường kính nằm trong khoảng từ 2 đến 12 mm) phát ra ở 10,6 μm và với công suất được điều chỉnh nhờ kiểm soát chu trình hoạt động của nó. Sự thay đổi hội tụ (nghĩa là, phạm vi lệch tiêu (extent of defocusing)) được sử dụng để thay đổi ứng suất nhiệt cảm ứng nhờ thay đổi kích thước vết. Sau khi tạo ra các đường đục thủng, sự tách rời cảm ứng CO₂ nói chung có thể đạt được nhờ sử dụng công suất ở thủy tinh là ~40 W, kích thước vết khoảng 2 mm, và tốc độ đi ngang qua của chùm là ~14-20 m/phút.

Tuy nhiên, kể cả nếu thủy tinh có đủ ứng suất trong để bắt đầu sự tự tách rời sau khi hình thành đường khuyết, thì dạng hình học của đường viền cắt có thể ngăn phần thủy tinh bên trong khỏi bị nhả. Đây là trường hợp cho các đường viền trong hoặc kín nhất, như các lỗ hoặc rãnh đơn giản. Phần bên trong của khẩu độ sẽ giữ nguyên tại chỗ do các lực nén có trong tấm thủy tinh – các vết nứt có thể lan truyền giữa các phần khuyết được đục thủng, nhưng không có chỗ để cho phép mảnh rơi ra khỏi tấm mẹ.

Tạo thành phần khuyết hoặc đường đục thủng

Đối với bước xử lý thứ nhất, có một số phương pháp để tạo ra đường khuyết đó. Phương pháp quang học để tạo thành sự hội tụ đường có thể có nhiều dạng, sử dụng các chùm laser được tạo dạng bánh rán và các thấu kính hình cầu, các thấu kính axicon, các phần tử nhiễu xạ, hoặc các phương pháp khác để tạo thành vùng tuyến tính có cường độ cao. Loại laser (pico giây, femto giây, v.v.) và bước sóng (IR, xanh, UV, v.v.) cũng có thể được thay đổi, miễn là đạt được các đường độ quang học thích đáng để tạo ra sự đánh thủng của vật liệu nền. Bước sóng này có thể là, ví dụ, 1064, 532, 355 hoặc 266 nanomet.

Các laser xung cực ngắn có thể được sử dụng kết hợp với thiết bị quang học mà tạo ra đường tiêu để đục thủng hoàn toàn thân của khoảng các thành phần thủy tinh. Theo một số phương án, khoảng thời gian xung (pulse duration) của các xung riêng nằm trong khoảng từ lớn hơn khoảng 1 pico giây đến nhỏ hơn khoảng 100 pico giây, như lớn hơn khoảng 5 pico giây đến nhỏ hơn khoảng 20 pico giây, và tốc độ lặp của các xung riêng có thể nằm trong khoảng từ khoảng 1 kHz đến 4 MHz, như nằm trong khoảng từ khoảng 10 kHz đến 650 kHz.

Ngoài hoạt động xung đơn ở các tốc độ lặp xung riêng nêu trên, các xung có thể được tạo trong các nhóm của hai xung, hoặc nhiều hơn (ví dụ như 3 xung, 4 xung, 5 xung, 10 xung, 15 xung, 20 xung, hoặc nhiều hơn) được tách rời bởi khoảng thời gian giữa các xung riêng nằm trong nhóm xung mà nằm trong khoảng từ khoảng 1 nano giây (nsec) đến khoảng 50 nano giây, ví dụ, nằm trong khoảng từ 10 đến 50 nano giây, hoặc nằm trong khoảng từ 10 đến 30 nano giây, như khoảng 20 nano giây, và tần số lặp nhóm có thể nằm trong khoảng từ khoảng 1 kHz đến khoảng 200 kHz. (Việc tạo nhóm hoặc tạo các nhóm xung là một loại hoạt động laser trong đó sự phát xạ của các xung là không

theo dòng đồng nhất và đều đặn mà đúng hơn là theo các cụm xung chặt chẽ.) Chùm laze nhóm xung có thể có bước sóng được lựa chọn sao cho vật liệu về cơ bản là trong suốt ở bước sóng này. Công suất laze trung bình cho mỗi nhóm được đo ở vật liệu có thể lớn hơn $40 \mu\text{J}$ (microJoules) cho mỗi mm chiều dày của vật liệu, ví dụ nằm trong khoảng từ $40 \mu\text{J/mm}$ đến $2500 \mu\text{J/mm}$, hoặc nằm trong khoảng từ 200 đến $800 \mu\text{J/mm}$. Ví dụ, đối với thủy tinh không trao đổi ion Corning 2320 có chiều dày 0,5 mm-0,7 mm một người có thể sử dụng các nhóm xung $200 \mu\text{J}$ để cắt và tách rời thủy tinh, nó đưa ra khoảng ví dụ là 285-400 $\mu\text{J/mm}$. Thủy tinh được di chuyển so với chùm laze (hoặc chùm laze được dịch so với thủy tinh) để tạo ra các đường được đục thủng mà vạch ra hình dạng của các phần mong muốn bất kỳ.

Laze tạo ra các vùng khuyết dạng lỗ (hoặc các dấu vết hư hại, hoặc các đường khuyết) mà xuyên qua toàn bộ chiều sâu thủy tinh, với các khe hở trong, ví dụ có đường kính xấp xỉ 1 micromet. Các phần đục thủng, các vùng khuyết, các dấu vết hư hại, hoặc các đường khuyết này nói chung được đặt cách xa ra trong khoảng từ 1 đến 15 micromet (ví dụ, 2-12 micromet, hoặc 3-10 micromet). Các đường khuyết mở rộng, ví dụ, qua chiều dày của tấm thủy tinh, và trực giao với các bề mặt (phẳng) chính của tấm thủy tinh.

Theo một phương án, laze xung nhóm cực ngắn (~ 10 pico giây (psec)) được sử dụng để tạo ra đường khuyết thẳng đứng có tỷ lệ phương diện cao này theo cách thức nhất quán, có thể kiểm soát và có thể lặp lại. Chi tiết về thiết lập quang học để cho phép tạo ra đường khuyết thẳng đứng này được mô tả sau đây và trong đơn yêu cầu cấp bằng sáng chế Hoa Kỳ số 61/752,489, được nộp ngày 15/01/2013. Bản chất của khái niệm này là để sử dụng phần tử thấu kính axicon trong cụm thiết bị thấu kính quang học để tạo ra vùng có vi kênh không vát có tỷ lệ phương diện cao sử dụng các chùm Bessel cực ngắn (khoảng thời gian pico giây hoặc femto giây). Nói cách khác, axicon ngưng tụ chùm laze vào trong vùng có dạng hình trụ và tỷ lệ phương diện cao (chiều dài dài và đường kính nhỏ). Do cường độ cao được tạo ra bởi chùm laze được ngưng tụ, sự tương tác phi tuyến tính của trường điện từ laze và vật liệu xảy ra và năng lượng laze được chuyển đến nền. Tuy nhiên, điều quan trọng cần nhận biết là trong các khu vực trong đó cường độ năng lượng laze không cao (nghĩa là, bề mặt thủy tinh, thể tích thủy tinh bao

quanh đường hội tụ trung tâm), không có gì xảy ra đối với thủy tinh khi cường độ laze ở dưới ngưỡng phi tuyến tính.

Chuyển sang Fig.2A và Fig.2B, phương pháp khoan laze đối với vật liệu bao gồm bước hội tụ chùm laze xung 2 vào trong đường tiêu chùm laze 2b, được quan sát dọc theo hướng lan truyền chùm. Như được thể hiện trên Fig.3, laze 3 (không được thể hiện trên hình vẽ) phát ra chùm laze 2, ở phía tới của chùm của cụm thiết bị quang học 6 được gọi là 2a, mà tới cụm thiết bị quang học 6. Cụm thiết bị quang học 6 chuyển chùm laze tới vào trong đường tiêu chùm laze mở rộng 2b ở phía đầu ra qua khoảng mở rộng xác định dọc theo hướng chùm (chiều dài l của đường tiêu). Nền phẳng 1 cần xử lý được định vị trong đường dẫn chùm sau khi cụm thiết bị quang học chổng ít nhất một phần lên đường tiêu chùm laze 2b của chùm laze 2. Ký tự tham chiếu 1a chỉ định bề mặt của nền phẳng hướng về cụm thiết bị quang học 6 hoặc laze, theo cách tương ứng, ký tự tham chiếu 1b chỉ định bề mặt đảo của nền 1 thường được đặt cách song song. Chiều dày nền (được đo vuông góc với các mặt phẳng 1a và 1b, nghĩa là, với mặt phẳng nền) được đánh dấu là d .

Như Fig.2A miêu tả, nền 1 được sắp hàng vuông góc với trục chùm dọc và theo đó ở sau cùng đường tiêu 2b được tạo bởi cụm thiết bị quang học 6 (nền vuông góc với mặt phẳng hình vẽ) và được quan sát dọc theo hướng chùm, nó được định vị so với đường tiêu 2b theo cách sao cho đường tiêu 2b được quan sát theo hướng chùm bắt đầu trước bề mặt 1a của nền và dừng trước bề mặt 1b của nền, nghĩa là vẫn bên trong nền. Trong khu vực chổng lên của đường tiêu chùm laze 2b với nền 1, nghĩa là trong vật liệu nền được bao phủ bởi đường tiêu 2b, đường tiêu chùm laze mở rộng 2b theo đó tạo ra (trong trường hợp có cường độ laze thích hợp dọc theo đường tiêu chùm laze 2b mà được bảo đảm do sự hội tụ của chùm laze 2 trên một phần của chiều dài l , nghĩa là sự hội tụ đường của chiều dài l) phần mở rộng 2c được quan sát dọc theo hướng chùm dọc, cùng với nó sự hấp thụ cảm ứng được tạo ra trong vật liệu nền mà gây ra sự hình thành đường khuyết hoặc vết nứt trong vật liệu nền dọc theo phần 2c. Sự hình thành vết nứt không chỉ là cục bộ, mà qua toàn bộ chiều dài của phần mở rộng 2c của sự hấp thụ cảm ứng. Chiều dài của phần 2c (nghĩa là, sau cùng, chiều dài của phần chổng lên của đường tiêu chùm laze 2b với nền 1) được đánh dấu bởi ký tự tham chiếu L. Đường kính trung bình hoặc sự mở rộng trung bình của phần hấp thụ cảm ứng (hoặc các phần trong vật

liệu của nền 1 trải qua sự hình thành vết nứt) được đánh dấu bởi ký tự tham chiếu D. Sự mở rộng trung bình D về cơ bản tương ứng với đường kính trung bình δ của đường tiêu chùm laze 2b, nghĩa là, đường kính vết trung bình nằm trong khoảng từ khoảng 0,1 μm đến khoảng 5 μm .

Như Fig.2A thể hiện, vật liệu nền trong suốt với bước sóng λ của chùm laze 2 được gia nhiệt do sự hấp thụ cảm ứng dọc theo đường tiêu 2b. Fig.2B chỉ ra là vật liệu ẩm sau cùng sẽ giãn nở sao cho sức căng cảm ứng theo đó dẫn đến sự hình thành vết vi nứt, với sức căng là cao nhất ở bề mặt 1a.

Các cụm thiết bị quang học liên khối 6, mà có thể được áp dụng để tạo ra đường tiêu 2b, cũng như thiết lập quang học liên khối, trong đó các cụm thiết bị quang học này có thể được áp dụng, được mô tả sau đây. Tất cả cụm thiết bị hoặc thiết lập dựa trên phần mô tả trên đây sao cho các ký tự chỉ dẫn giống nhau được sử dụng cho các thành phần hoặc dấu hiệu giống nhau hoặc cho các thành phần hoặc dấu hiệu mà tương đương về chức năng của chúng. Do đó sau đây chỉ mô tả các phần khác biệt.

Do mặt phân chia mà sau cùng dẫn đến sự tách rời có hoặc phải có chất lượng cao (liên quan đến độ bền nứt, độ chính xác hình học, độ nhám và tránh các yêu cầu gia công lại), nên các đường tiêu riêng mà cần được định vị trên bề mặt nền dọc theo đường phân chia 5 sẽ được tạo ra bằng cách sử dụng cụm thiết bị quang học được mô tả sau đây (sau đây, cụm thiết bị quang học còn được gọi theo cách khác là thiết bị quang học laze). Độ nhám đặc biệt là do kích thước vết hoặc đường kính vết của đường tiêu. Để thu được kích thước vết thấp, ví dụ, nằm trong khoảng từ 0,5 μm đến 2 μm trong trường hợp bước sóng λ đã cho của laze 3 (tương tác với vật liệu của nền 1), các yêu cầu cụ thể thường phải được đặt ra với khẩu độ số của thiết bị quang học laze 6. Các yêu cầu này được thỏa mãn bởi thiết bị quang học laze 6 được mô tả sau đây.

Để thu được khẩu độ số yêu cầu, một mặt, thiết bị quang học phải bố trí khe hở yêu cầu đối với tiêu cự đã cho, theo công thức Abbé đã được biết đến ($N.A. = n \sin(\theta)$), n: chỉ số khúc xạ của thủy tinh cần xử lý, θ : nửa góc khẩu độ; và $\theta = \arctan(D/2f)$; D: khẩu độ, f: tiêu cự). Mặt khác, chùm laze phải chiếu sáng thiết bị quang học lên tới khẩu độ yêu cầu, điều này thường đạt được nhờ mở rộng chùm bằng cách sử dụng các kính viễn vọng mở rộng giữa laze và thiết bị quang học hội tụ.

Kích thước vết sẽ không thay đổi quá mạnh nhằm mục đích tương tác đồng nhất dọc theo đường tiêu. Điều này có thể, ví dụ, được bảo đảm (xem phương án dưới đây) nhờ chiếu sáng thiết bị quang học hội tụ chỉ trong khu vực tròn, nhỏ sao cho khe hở chùm và theo đó là tỷ lệ phần trăm của khẩu độ số chỉ thay đổi nhỏ.

Theo Fig.3A (phần vuông góc với mặt phẳng nền ở mức của chùm trung tâm trong bó chùm laze của sự bức xạ laze 2; cũng như vậy, ở đây, tâm của chùm laze 2 tốt hơn nếu tới theo cách vuông góc với mặt phẳng nền, nghĩa là góc bằng 0° sao cho đường tiêu 2b hoặc phần mở rộng của sự hấp thụ cảm ứng 2c song song với pháp tuyến nền), sự bức xạ laze 2a phát ra bởi laze 3 trước tiên được hướng lên trên khẩu độ tròn 8 mà hoàn toàn mờ đối với bức xạ laze được sử dụng. Khẩu độ 8 được định hướng vuông góc với trục chùm dọc và được định tâm trên chùm trung tâm của bó chùm 2a được mô tả. Đường kính của khẩu độ 8 được lựa chọn theo cách sao cho các bó chùm ở gần tâm của bó chùm 2a hoặc chùm trung tâm (ở đây được đánh dấu là 2aZ) và phải khẩu độ và được hấp thụ hoàn toàn bởi nó. Chỉ có các chùm trong khoảng chu vi ngoài của bó chùm 2a (các tia biên, ở đây được đánh dấu là 2aR) không được hấp thụ do kích thước khẩu độ giảm so với đường kính chùm, nhưng đi qua khẩu độ 8 theo hướng ngang và va trúng các khu vực biên của các phần tử quang học hội tụ của cụm thiết bị quang học 6, ở đây nó được thiết kế như thấu kính hai mặt lồi, cắt dạng cầu 7.

Thấu kính 7 được định tâm trên chùm trung tâm được thiết kế có chủ ý như thấu kính hội tụ hai mặt lồi, không hiệu chỉnh ở dưới dạng thấu kính cắt dạng cầu, thông thường. Theo cách khác, quang sai cầu của thấu kính này được sử dụng theo cách có chủ ý. Theo cách khác, các hệ thống phi cầu hoặc đa thấu kính lệch khỏi các hệ thống hiệu chỉnh lý tưởng, mà không tạo thành tiêu điểm lý tưởng mà là đường tiêu kéo dài, riêng biệt có chiều dài xác định, cũng có thể được sử dụng (nghĩa là, các thấu kính hoặc hệ thống không có tiêu điểm đơn). Theo đó, các vùng của thấu kính hội tụ dọc theo đường tiêu 2b, phải chịu khoảng cách từ tâm thấu kính. Đường kính của khẩu độ 8 qua hướng chùm bằng xấp xỉ 90% đường kính của bó chùm (đường kính bó chùm được định nghĩa bởi sự mở rộng tới mức giảm thành $1/e^2$) (cường độ) và xấp xỉ 75% đường kính của thấu kính của cụm thiết bị quang học 6. Đường tiêu 2b của thấu kính hình cầu không hiệu chỉnh quang sai 7 được tạo ra nhờ chặn các bó chùm trong tâm do đó được sử dụng.

Fig.3A thể hiện phần trên một mặt phẳng qua chùm trung tâm, có thể quan sát bố ba chiều đầy đủ khi các chùm đã mô tả được quay quanh đường tiêu 2b.

Một nhược điểm của đường tiêu này là các điều kiện (kích thước vết, cường độ laze) dọc theo đường tiêu, và theo đó là dọc theo chiều sâu mong muốn trong vật liệu, thay đổi và do đó loại tương tác mong muốn (không nóng chảy, hấp thụ cảm ứng, biến dạng dẻo nhiệt lên tới hình thành vết nứt) có thể có khả năng chỉ được lựa chọn trong một phần của đường tiêu. Tiếp theo, điều này có nghĩa có khả năng là chỉ một phần của ánh sáng laze tới được hấp thụ theo cách mong muốn. Theo cách này, hiệu suất của quy trình (công suất laze trung bình được yêu cầu cho tốc độ tách rời mong muốn) bị suy yếu về một mặt, và mặt khác ánh sáng laze có thể được truyền vào trong các vị trí không mong muốn ở sâu hơn (các phần hoặc các lớp dính vào nền hoặc giá đỡ nền) và tương tác ở đó theo cách không được mong muốn (gia nhiệt, khuếch tán, hấp thụ, biến đổi không mong muốn).

Fig.3B-1-4 thể hiện (không chỉ cho cụm thiết bị quang học trên Fig.3A, mà về cơ bản còn cho cụm thiết bị quang học 6 có thể áp dụng bất kỳ khác) là đường tiêu chùm laze 2b có thể được định vị theo cách khác nhờ định vị và/hoặc sắp hàng phù hợp cụm thiết bị quang học 6 so với nền 1 cũng như nhờ lựa chọn phù hợp các thông số của cụm thiết bị quang học 6: Như Fig.3B-1 thể hiện, chiều dài l của đường tiêu 2b có thể được điều chỉnh theo cách sao cho nó vượt quá chiều dày nền d (ở đây bởi hệ số 2). Nếu nền 1 được đặt (được quan sát theo hướng chùm dọc) trung tâm với đường tiêu 2b, thì phần mở rộng của sự hấp thụ cảm ứng 2c được tạo ra qua toàn bộ chiều dày nền.

Trong trường hợp được thể hiện trên Fig.3B-2, đường tiêu 2b được tạo ra có chiều dài l mà về cơ bản giống như chiều dày nền d . Do nền 1 so với đường 2 được định vị theo cách sao cho đường 2b bắt đầu ở điểm trước, nghĩa là ngoài nền, chiều dài L của phần mở rộng của sự hấp thụ cảm ứng 2c (mà mở rộng ở đây từ bề mặt nền đến chiều sâu nền xác định, nhưng không đến bề mặt đảo 1b) nhỏ hơn chiều dài l của đường tiêu 2b. Fig.3B-3 thể hiện trường hợp trong đó nền 1 (được quan sát dọc theo hướng chùm) được định vị một phần trước điểm bắt đầu của đường tiêu 2b sao cho, ở đây cũng như vậy, nó áp dụng cho chiều dài l của đường 2b $l > L$ (L = mở rộng của phần của sự hấp thụ cảm ứng 2c trong nền 1). Theo đó, đường tiêu bắt đầu bên trong nền và mở rộng qua

bề mặt đảo 1b đến quá nền. Sau cùng, Fig.3B-4 thể hiện trường hợp trong đó chiều dài đường tiêu tạo ra l nhỏ hơn chiều dày nền d sao cho - trong trường hợp định vị trung tâm của nền so với đường tiêu được quan sát theo hướng tới - đường tiêu bắt đầu gần bề mặt 1a bên trong nền và kết thúc gần bề mặt 1b bên trong nền ($l = 0,75 \cdot d$).

Đặc biệt có lợi khi thực hiện việc định vị đường tiêu theo cách sao cho ít nhất một bề mặt 1a, 1b được bao phủ bởi đường tiêu, nghĩa là phần của sự hấp thụ cảm ứng 2c bắt đầu ít nhất trên một bề mặt. Theo cách này, có khả năng đạt được các vết cắt gần như lý tưởng tránh được sự cắt bỏ, tạo gợn và tạo hạt ở bề mặt.

Fig.4 mô tả một cụm thiết bị quang học 6 có thể áp dụng khác. Kết cấu cơ bản tuân theo kết cấu được mô tả trên Fig.3A nên sau đây chỉ mô tả các phần khác biệt. Cụm thiết bị quang học được mô tả dựa trên việc sử dụng thiết bị quang học với bề mặt tự do không phải hình cầu để tạo ra đường tiêu 2b, mà được tạo hình dạng theo cách sao cho đường tiêu có chiều dài l xác định được tạo thành. Nhằm mục đích này, các thành phần phi cầu có thể được sử dụng làm các thành phần quang học của cụm thiết bị quang học 6. Trên Fig.4, ví dụ, lăng kính hình nón, còn thường được gọi là axicon, được sử dụng. Axicon là thấu kính cắt hình nón, đặc biệt mà tạo thành nguồn vết trên đường dọc theo trục quang học (hoặc biến đổi chùm laze thành vòng tròn). Cách bố trí của axicon này phần lớn được biết đến bởi người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực; góc hình nón theo ví dụ là 10° . Đỉnh của axicon được đánh dấu ở đây là ký tự tham chiếu 9 được hướng về phía hướng đến và được định tâm trên tâm chùm. Khi đường tiêu 2b của axicon 9 đã bắt đầu trong phần bên trong của nó, nền 1 (ở đây được sắp hàng vuông góc với trục chùm chính) có thể được định vị trong đường dẫn chùm theo cách trực tiếp phía sau axicon 9. Như Fig.4 thể hiện, còn có khả năng dịch chuyển nền 1 dọc theo hướng chùm do các đặc tính quang học của axicon mà không rời khỏi khoảng của đường tiêu 2b. Phần mở rộng của sự hấp thụ cảm ứng 2c trong vật liệu của nền 1 theo đó mở rộng qua toàn bộ chiều dày nền d .

Tuy nhiên, cách bố trí được mô tả phải chịu các giới hạn sau đây: Khi đường tiêu của axicon 9 đã bắt đầu bên trong thấu kính, một phần đáng kể của năng lượng laze không được hội tụ vào trong phần 2c của đường tiêu 2b, nó được đặt bên trong vật liệu, trong trường hợp khoảng cách hữu hạn giữa thấu kính và vật liệu. Hơn nữa, chiều dài l

của đường tiêu 2b có liên quan đến đường kính chùm cho các chỉ số khúc xạ và các góc hình nón sẵn có của axicon 9, đây là lý do tại sao, trong trường hợp các vật liệu tương đối mỏng (một vài millimet), tổng đường tiêu là quá dài, có ảnh hưởng là năng lượng laze một lần nữa không được hội tụ cụ thể vào trong vật liệu.

Đây là nguyên nhân cho cụm thiết bị quang học 6 nâng cao mà bao gồm cả axicon và thấu kính hội tụ. Fig.5A mô tả cụm thiết bị quang học 6 này trong đó phần tử quang học thứ nhất (được quan sát dọc theo hướng chùm) với bề mặt tự do không phải hình cầu được thiết kế để tạo thành đường tiêu chùm laze mở rộng 2b được định vị trong đường chùm của laze 3. Trong trường hợp được thể hiện trên Fig.5A, phần tử quang học thứ nhất này là axicon 10 với góc hình nón là 5° , nó được định vị vuông góc với hướng chùm và được định tâm trên chùm laze 3. Đỉnh của axicon được định hướng về phía hướng chùm. Phần tử quang học hội tụ thứ hai ở đây là thấu kính phẳng lồi 11 (phần cong của nó được định hướng về phía axicon), được định vị theo hướng chùm ở khoảng cách z_1 từ axicon 10. Trong trường hợp này, khoảng cách z_1 xấp xỉ 300 mm, được lựa chọn theo cách sao cho sự bức xạ laze được tạo thành bởi axicon 10 tới theo hình tròn trên khu vực biên của thấu kính 11. Thấu kính 11 hội tụ sự bức xạ tròn ở bên đầu ra ở khoảng cách z_2 , trong trường hợp này là xấp xỉ 20 mm từ thấu kính 11, trên đường tiêu 2b của chiều dài xác định, trong trường hợp này là 1,5 mm. Tiêu cự hiệu dụng của thấu kính 11 ở đây là 25 mm. Sự biến đổi tròn của chùm laze bởi axicon 10 được đánh dấu bởi ký tự tham chiếu là SR.

Fig.5B mô tả chi tiết việc hình thành đường tiêu 2b hoặc sự hấp thụ cảm ứng 2c trong vật liệu của nền 1 theo Fig.5A. Các đặc trưng quang học của cả hai phần tử 10, 11 cũng như sự định vị của chúng được lựa chọn theo cách sao cho sự mở rộng l của đường tiêu 2b theo hướng chùm chính xác là giống hệt với chiều dày d của nền 1. Do đó, sự định vị chính xác của nền 1 dọc theo hướng chùm được yêu cầu để định vị đường tiêu 2b theo cách chính xác giữa hai bề mặt 1a và 1b của nền 1, như được thể hiện trên Fig.5B.

Do đó có lợi nếu đường tiêu được tạo thành ở khoảng cách nhất định từ thiết bị quang học laze, và nếu phần lớn hơn của bức xạ laze được hội tụ lên tới đầu mong muốn của đường tiêu. Như được mô tả, điều này có thể đạt được nhờ chiếu sáng phần tử hội

tụ chính 11 (thấu kính) chỉ theo hình tròn trên vùng yêu cầu, mà, một mặt, đóng vai trò thực hiện khẩu độ số được yêu cầu và theo đó là kích thước vết được yêu cầu, tuy nhiên, mặt khác là hình tròn khuếch tán giảm đi về cường độ sau khi đường tiêu 2b được yêu cầu qua khoảng cách rất ngắn trong tâm của vết, khi tạo thành vết cơ bản là hình tròn. Theo cách này, sự hình thành vết nứt được dừng lại trong khoảng cách ngắn ở chiều sâu nền yêu cầu. Việc kết hợp của axicon 10 và thấu kính hội tụ 11 thỏa mãn yêu cầu này. Axicon hoạt động theo hai cách khác nhau: tùy thuộc vào axicon 10, vết laze thường là tròn được đưa đến thấu kính hội tụ 11 dưới dạng vòng tròn, và tính phi cầu của axicon 10 có tác dụng là đường tiêu được tạo thành quá mặt phẳng tiêu của thấu kính thay vì tiêu điểm trên mặt phẳng tiêu. Chiều dài l của đường tiêu 2b có thể được điều chỉnh thông qua đường kính chùm trên axicon. Mặt khác, khẩu độ số dọc theo đường tiêu có thể được điều chỉnh thông qua khoảng cách z_1 axicon-thấu kính và thông qua góc hình nón của axicon. Theo cách này, toàn bộ năng lượng laze có thể được tập trung trên đường tiêu.

Nếu sự hình thành vết nứt (nghĩa là, đường khuyết) được hỗ trợ để tiếp tục về phía lộ của nền, sự chiếu sáng tròn vẫn có ưu điểm là, một mặt, công suất laze được sử dụng theo cách tốt nhất có thể do một phần rộng của ánh sáng laze giữ tập trung trên chiều dài yêu cầu của đường tiêu, mặt khác, có khả năng đạt được kích thước vết đồng nhất dọc theo đường tiêu - và theo đó là quy trình tách rời đồng nhất dọc theo đường tiêu - do vùng được chiếu sáng tròn cùng với quang sai mong muốn được thiết lập bởi các chức năng quang học khác.

Thay vì thấu kính phẳng lồi được mô tả trên Fig.5A, còn có thể sử dụng thấu kính mặt khum hội tụ hoặc một thấu kính hội tụ được hiệu chỉnh cao hơn khác (hệ đa thấu kính, phi cầu).

Để tạo ra các đường tiêu 2b rất ngắn bằng cách sử dụng kết hợp axicon và thấu kính được mô tả trên Fig.5A, cần thiết lựa chọn đường kính chùm rất nhỏ của chùm laze tới trên axicon. Điều này có nhược điểm trên thực tế là việc định tâm của chùm lên trên đỉnh của axicon phải rất chính xác và do đó kết quả là rất nhạy đối với các sự thay đổi hướng của laze (độ ổn định dịch chùm). Hơn nữa, chùm laze chuẩn trực chặt là rất phân

kỳ (divergent), nghĩa là do độ lệch ánh sáng bó chùm trở nên nhờ đi qua các khoảng cách ngắn.

Như được thể hiện trên Fig.6, cả hai ảnh hưởng đều có thể tránh được nhờ cài vào một thấu kính khác, thấu kính chuẩn trực 12: thấu kính 12 dương, khác này có vai trò điều chỉnh sự chiếu sáng tròn của thấu kính hội tụ 11 theo cách rất chặt. Tiêu cự f của thấu kính chuẩn trực 12 được lựa chọn theo cách sao cho đường kính hình tròn dự mong muốn là do khoảng cách z_{1a} từ axicon đến thấu kính chuẩn trực 12, nó bằng với f . Chiều rộng mong muốn br của vòng tròn có thể được điều chỉnh thông qua khoảng cách z_{1b} (thấu kính chuẩn trực 12 đến thấu kính hội tụ 11). Là vấn đề hình học đơn thuần, chiều rộng chiếu sáng tròn nhỏ dẫn đến đường tiêu ngắn. Trị số nhỏ nhất có thể đạt được ở khoảng cách f .

Cụm thiết bị quang học 6 được mô tả trên Fig.6 theo đó dựa trên cụm thiết bị được mô tả trên Fig.5A nên sau đây chỉ mô tả các phần khác biệt. Thấu kính chuẩn trực 12, ở đây còn được thiết kế như thấu kính phẳng lồi (với phần cong của nó hướng về phía hướng chùm), một mặt, được đặt bổ sung ở trung tâm trên đường dẫn chùm giữa axicon 10 (với đỉnh của nó hướng về phía hướng chùm), và mặt khác là thấu kính phẳng lồi 11. Khoảng cách của thấu kính chuẩn trực 12 từ axicon 10 được gọi là z_{1a} , khoảng cách của thấu kính hội tụ 11 từ thấu kính chuẩn trực 12 là z_{1b} , và khoảng cách của đường tiêu 2b được tạo ra từ thấu kính hội tụ 11 là z_2 (luôn được quan sát theo hướng chùm). Như được thể hiện trên Fig.6, sự bức xạ tròn SR được tạo thành bởi axicon 10, mà tới theo cách phân kỳ và dưới đường kính hình tròn dự trên thấu kính chuẩn trực 12, được điều chỉnh thành chiều rộng hình tròn yêu cầu br dọc theo khoảng cách z_{1b} cho ít nhất đường kính hình tròn dự gần như không đổi ở thấu kính hội tụ 11. Trong trường hợp được thể hiện, đường tiêu 2b rất ngắn được hỗ trợ để được tạo ra sao cho chiều rộng hình tròn br xấp xỉ 4 mm ở thấu kính 12 được giảm thành xấp xỉ 0,5 mm ở thấu kính 11 do các thuộc tính hội tụ của thấu kính 12 (trong ví dụ đường kính hình tròn dự là 22 mm).

Trong ví dụ được mô tả, có khả năng đạt được chiều dài của đường tiêu l nhỏ hơn 0,5 mm bằng cách sử dụng đường kính chùm laze đặc trưng 2 mm, thấu kính hội tụ 11 với tiêu cự $f = 25$ mm, và thấu kính chuẩn trực với tiêu cự $f' = 150$ mm. Ngoài ra áp dụng $Z_{1a} = Z_{1b} = 140$ mm và $Z_2 = 15$ mm.

Fig.7A-Fig.7C minh họa tương tác vật chất-laze ở các chế độ cường độ laze khác nhau. Trong trường hợp thứ nhất, được thể hiện trên Fig.7A, chùm laze không được hội tụ 710 đi qua nền trong suốt 720 mà không đưa biến đổi bất kỳ vào trong nó. Trong trường hợp cụ thể này, hiệu ứng phi tuyến tính không có mặt bởi vì mật độ năng lượng laze (hoặc năng lượng laze trên mỗi diện tích đơn vị được chiếu sáng bởi chùm) ở dưới ngưỡng cần thiết để gây ra các hiệu ứng phi tuyến tính. Mật độ năng lượng càng cao thì cường độ của trường điện từ càng cao. Do đó, như được thể hiện trên Fig.7B khi chùm laze được hội tụ bởi thấu kính hình cầu 730 vào kích thước vết nhỏ hơn, như được thể hiện trên Fig.7B, khu vực được chiếu sáng giảm đi và mật độ năng lượng tăng lên, kích hoạt hiệu ứng phi tuyến tính mà sẽ biến đổi vật liệu để cho phép hình thành đường đứt gãy chỉ trong thể tích trong đó điều kiện này được thỏa mãn. Theo cách này, nếu chỗ thắt của chùm của laze hội tụ được định vị ở bề mặt của nền, thì sự biến đổi của bề mặt sẽ xảy ra. Ngược lại, nếu chỗ thắt của chùm của laze hội tụ được định vị dưới bề mặt của nền, thì không có gì diễn ra ở bề mặt khi mật độ năng lượng ở dưới ngưỡng của hiệu ứng quang học phi tuyến tính. Nhưng ở tiêu điểm 740, được định vị trong khối của nền 720, cường độ laze là đủ cao để kích hoạt các hiệu ứng phi tuyến tính nhiều photon, theo đó gây ra hư hại cho vật liệu. Sau cùng, như được thể hiện trên Fig.7C trong trường hợp của axicon, như được thể hiện trên Fig.7C, ảnh nhiễu xạ của thấu kính axicon 750, hoặc theo cách khác là axicon Fresnel, tạo ra nhiễu xạ mà tạo ra sự phân bố cường độ (hình trụ có cường độ cao 760) và chỉ trong thể tích đó là có cường độ đủ cao để tạo ra sự biến đổi và hấp thụ phi tuyến tính đối với vật liệu 720. Đường kính của hình trụ 760, trong đó sự phân bố cường độ tạo dạng Bessel là đủ cao để tạo ra sự biến đổi và hấp thụ phi tuyến tính đối với vật liệu, cũng là đường kính vết của đường tiêu chùm laze, như được gọi ở đây. Đường kính vết D của chùm Bessel có thể được biểu diễn là $D = (2,4048 \lambda)/(2\pi B)$, trong đó λ là bước sóng chùm laze và B là hàm của góc axicon.

Lưu ý là hoạt động đặc trưng của laze pico gây được mô tả ở đây tạo ra "nhóm" 500 của các xung 500A. (Ví dụ, xem Fig.8A và Fig.8B). Mỗi "nhóm" (ở đây còn được gọi là "nhóm xung" 500) chứa nhiều xung riêng 500A (như ít nhất 2 xung, ít nhất 3 xung, ít nhất 4 xung, ít nhất 5 xung, ít nhất 10 xung, ít nhất 15 xung, ít nhất 20 xung, hoặc nhiều hơn) có khoảng thời gian rất ngắn. Nghĩa là, nhóm xung là "bao" của các xung, và các nhóm được tách rời với nhau bởi khoảng thời gian dài hơn so với sự tách

rời của các xung liên kế riêng bên trong mỗi nhóm. Các xung 500A có khoảng thời gian xung T_d lên tới 100 pico giây (psec) (ví dụ, 0,1 pico giây, 5 pico giây, 10 pico giây, 15 pico giây, 18 pico giây, 20 pico giây, 22 pico giây, 25 pico giây, 30 pico giây, 50 pico giây, 75 pico giây, hoặc giữa chúng). Năng lượng hoặc cường độ của mỗi xung 500A riêng bên trong nhóm có thể không bằng năng lượng hoặc cường độ của các xung khác bên trong nhóm, và sự phân bố cường độ của nhiều xung bên trong nhóm 500 thường tuân theo phân rã dạng hàm mũ về thời gian bị ảnh hưởng bởi thiết kế laze. Tốt hơn nếu, mỗi xung 500A bên trong nhóm 500 của các phương án làm ví dụ được mô tả ở đây được tách rời về thời gian khỏi xung tiếp theo trong nhóm bởi khoảng thời gian T_p nằm trong khoảng từ 1 nano giây đến 50 nano giây (ví dụ nằm trong khoảng từ 10 đến 50 nano giây, hoặc nằm trong khoảng từ 10 đến 30 nano giây, với thời gian thường bị ảnh hưởng bởi thiết kế hốc cộng hưởng laze). Đối với laze đã cho, sự tách rời thời gian T_p giữa các xung liên kế (sự tách rời xung đến xung) bên trong nhóm 500 là tương đối đồng nhất ($\pm 10\%$). Ví dụ, theo một số phương án, mỗi xung bên trong nhóm được tách rời về thời gian khỏi xung tiếp theo bởi xấp xỉ 20 nano giây (50 MHz). Ví dụ, đối với laze mà tạo sự tách rời xung T_p khoảng 20 nano giây, sự tách rời xung đến xung T_p bên trong nhóm được duy trì trong khoảng $\pm 10\%$, hoặc khoảng ± 2 nano giây. Thời gian giữa mỗi "nhóm" của các xung (nghĩa là, sự tách rời thời gian T_b giữa các nhóm) sẽ dài hơn nhiều (ví dụ, $0,25 \leq T_b \leq 1000$ micro giây, ví dụ 1-10 micro giây, hoặc 3-8 micro giây). Theo một số phương án trong số các phương án làm ví dụ của laze được mô tả ở đây, sự tách rời thời gian T_b là khoảng 5 micro giây đối với laze với tốc độ lặp nhóm xung hoặc tần số là khoảng 200 kHz. Tốc độ lặp nhóm laze liên quan đến thời gian T_b giữa xung thứ nhất trong nhóm đến xung thứ nhất trong nhóm tiếp theo (tốc độ lặp nhóm laze = $1/T_b$). Theo một số phương án, tần số lặp nhóm laze có thể nằm trong khoảng từ khoảng 1 kHz đến khoảng 4 MHz. Tốt hơn nữa nếu, các tốc độ lặp nhóm laze có thể, ví dụ, nằm trong khoảng từ khoảng 10 kHz đến 650 kHz. Thời gian T_b giữa xung thứ nhất trong mỗi nhóm đến xung thứ nhất trong nhóm tiếp theo có thể nằm trong khoảng từ 0,25 micro giây (tốc độ lặp nhóm 4 MHz) đến 1000 micro giây (tốc độ lặp nhóm 1 kHz), ví dụ nằm trong khoảng từ 0,5 micro giây (tốc độ lặp nhóm 2 MHz) đến 40 micro giây (tốc độ lặp nhóm 25 kHz), hoặc nằm trong khoảng từ 2 micro giây (tốc độ lặp nhóm 500 kHz) đến 20 micro giây (tốc độ lặp nhóm 50k Hz). Các sự định thời, khoảng thời gian xung, và tốc

độ lặp nhóm chính xác có thể thay đổi tùy thuộc vào thiết kế laze, nhưng các xung ngắn ($T_d < 20$ pico giây và tốt hơn nếu $T_d \leq 15$ pico giây) có cường độ cao đã được thể hiện là hoạt động đặc biệt tốt.

Năng lượng yêu cầu để biến đổi vật liệu có thể được mô tả theo năng lượng nhóm - năng lượng được chứa trong nhóm (mỗi nhóm 500 chứa một loạt các xung 500A), hoặc theo năng lượng được chứa trong xung laze đơn (nhiều trong số đó có thể bao gồm nhóm). Đối với các ứng dụng này, năng lượng cho mỗi nhóm có thể nằm trong khoảng từ 25 đến 750 μJ , tốt hơn nữa nếu nằm trong khoảng từ 50 đến 500 μJ , hoặc nằm trong khoảng từ 50 đến 250 μJ . Theo một số phương án, năng lượng cho mỗi nhóm nằm trong khoảng từ 100 đến 250 μJ . Năng lượng của xung riêng bên trong nhóm xung sẽ nhỏ hơn, và năng lượng xung laze riêng chính xác sẽ phụ thuộc vào số lượng của các xung 500A bên trong nhóm xung 500 và tốc độ phân rã (ví dụ, tốc độ phân rã dạng hàm mũ) của các xung laze với thời gian như được thể hiện trên Fig.8A và Fig.8B. Ví dụ, đối với năng lượng/nhóm không đổi, nếu nhóm xung chứa 10 xung laze riêng 500A, thì mỗi xung laze riêng 500A sẽ chứa ít năng lượng hơn so với nếu cùng nhóm xung 500 chỉ có 2 xung laze riêng.

Việc sử dụng laze có khả năng tạo ra các nhóm xung này là có lợi để cắt hoặc biến đổi các vật liệu trong suốt, ví dụ thủy tinh. Ngược lại với việc sử dụng các xung đơn được đặt cách ra về thời gian bởi tốc độ lặp của laze xung đơn, việc sử dụng chuỗi nhóm xung mà lan truyền năng lượng laze qua chuỗi nhanh của các xung bên trong nhóm 500 cho phép tiếp cận các thang thời gian lớn hơn có tương tác cường độ cao với vật liệu so với có thể có với các laze xung đơn. Trong khi xung đơn có thể giãn theo thời gian, khi thực hiện điều này thì cường độ bên trong xung phải hạ xuống mạnh một lần qua chiều rộng xung. Do đó, nếu xung đơn 10 pico giây được giãn thành xung 10 nano giây, thì hạ cường độ bởi ba bậc độ lớn mạnh. Việc giảm đi này có thể giảm cường độ quang học đến điểm tại đó sự hấp thụ phi tuyến tính không còn đáng kể, và tương tác vật liệu với ánh sáng không còn đủ mạnh để cho phép cắt. Ngược lại, với laze nhóm xung, cường độ trong mỗi xung 500A bên trong nhóm 500 có thể giữ nguyên rất cao – ví dụ ba xung 10 pico giây 500A được đặt cách ra theo thời gian bởi xấp xỉ 10 nano giây vẫn cho phép cường độ bên trong mỗi xung cao hơn xấp xỉ ba lần so với cường độ của xung 10 pico giây đơn, trong khi laze được cho phép tương tác với vật liệu qua thang

thời gian mà bây giờ lớn hơn ba bậc độ lớn. Sự điều chỉnh của nhiễu xạ 500A bên trong nhóm theo đó cho phép thao tác thang thời gian của sự tương tác laser với vật liệu theo các cách mà có thể tạo thuận lợi cho sự tương tác ánh sáng lớn hơn hoặc nhỏ hơn với chùm plasma có từ trước, sự tương tác ánh sáng với vật liệu lớn hơn hoặc nhỏ hơn với các nguyên tử và phân tử mà đã được kích thích trước bởi xung laser ban đầu hoặc trước đó, và các hiệu ứng gia nhiệt lớn hơn hoặc nhỏ hơn bên trong vật liệu mà có thể đẩy mạnh sự phát triển có kiểm soát của các vết vi nứt. Lượng năng lượng nhóm được yêu cầu để biến đổi vật liệu sẽ phụ thuộc vào thành phần vật liệu nền và chiều dài hội tụ đường được sử dụng để tương tác với nền. Vùng tương tác càng dài thì năng lượng lan truyền càng nhiều, và càng yêu cầu nhiều năng lượng nhóm. Các sự định thời, khoảng thời gian xung, và tốc độ lặp nhóm chính xác có thể thay đổi tùy thuộc vào thiết kế laser, nhưng các xung ngắn (<15 pico giây, hoặc ≤ 10 pico giây) có cường độ cao đã được thể hiện là hoạt động tốt với kỹ thuật này. Đường khuyết hoặc lỗ được tạo thành trong vật liệu khi nhóm đơn của các xung va đập về cơ bản vào cùng vị trí trên thủy tinh. Nghĩa là, nhiễu xạ laser bên trong nhóm đơn tương ứng với đường khuyết đơn hoặc vị trí lỗ trên thủy tinh. Đương nhiên, do thủy tinh được dịch (ví dụ bởi giai đoạn luôn di chuyển) hoặc chùm được di chuyển so với thủy tinh, nên các xung riêng bên trong nhóm không thể ở chính xác cùng một vị trí trong không gian trên thủy tinh. Tuy nhiên, chúng tốt trong $1\text{ }\mu\text{m}$ của nhau - nghĩa là, chúng va đập vào thủy tinh về cơ bản ở cùng một vị trí. Ví dụ, chúng có thể va đập thủy tinh ở khoảng đặt cách, sp , với nhau tại đó $0 < \text{sp} \leq 500\text{ nm}$. Ví dụ, khi vị trí thủy tinh được va phải bởi nhóm của 20 xung thì các xung riêng bên trong nhóm va đập vào thủy tinh trong 250 nm của nhau. Theo đó, theo một số phương án là $1\text{ nm} < \text{sp} < 250\text{ nm}$. Theo một số phương án là $1\text{ nm} < \text{sp} < 100\text{ nm}$.

Các hiệu ứng nhiễu xạ photon, hoặc MPA (multi-photon absorption - sự hấp thụ nhiễu xạ photon) là sự hấp thụ đồng thời của hai hoặc nhiều hơn hai photon có các tần số giống hoặc khác nhau để kích thích phân tử từ một trạng thái (thường là trạng thái cơ bản) thành trạng thái điện tử có năng lượng cao hơn (ion hóa). Sự chênh lệch năng lượng giữa các trạng thái thấp và cao liên quan của phân tử có thể bằng với tổng các năng lượng của hai photon. MPA, còn được gọi là sự hấp thụ cảm ứng, có thể là quy trình bậc hai, bậc ba, hoặc quy trình bậc cao hơn, ví dụ, yếu hơn một vài bậc độ lớn so với sự hấp thụ tuyến tính. MPA khác với sự hấp thụ tuyến tính ở chỗ cường độ của sự hấp thụ cảm

ứng có thể tỷ lệ với bình phương hoặc lập phương (hoặc luật lũy thừa cao hơn) của cường độ ánh sáng, ví dụ, thay vì tỷ lệ với chính cường độ ánh sáng. Theo đó, MPA là quy trình quang học phi tuyến tính.

Khoảng đặt cách (bước) ngang giữa các đường khuyết (các dấu vết hư hại) được xác định bởi tốc độ xung của laze khi nền được dịch bên dưới chùm laze hội tụ. Chỉ có nhóm xung laze pico giây đơn là thường cần thiết để tạo thành toàn bộ lỗ, nhưng nhiều nhóm có thể được sử dụng nếu mong muốn. Để tạo thành các dấu vết hư hại (các đường khuyết) ở các bước khác nhau, laze có thể được kích hoạt để bắn ở các quãng dài hơn hoặc ngắn hơn. Đối với các hoạt động cắt, sự kích hoạt laze thường được đồng bộ hóa với chuyển động được dẫn theo giai đoạn của chi tiết gia công bên dưới chùm, nên các nhóm xung laze được kích hoạt ở khoảng đặt cách cố định, như ví dụ mỗi 1 micromet, hoặc mỗi 5 micromet. Khoảng cách, hoặc tính chu kỳ, giữa các phần đục thủng hoặc các đường khuyết liên kế dọc theo hướng của đường đứt gãy, theo một số phương án, ví dụ, có thể lớn hơn 0,1 micromet và nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 20 micromet. Ví dụ, khoảng đặt cách hoặc tính chu kỳ giữa các phần đục thủng hoặc các đường khuyết liên kế nằm trong khoảng từ 0,5 đến 15 micromet, hoặc nằm trong khoảng từ 3 đến 10 micromet, hoặc nằm trong khoảng từ 0,5 micromet đến 3,0 micromet. Ví dụ, theo một số phương án, tính chu kỳ có thể nằm trong khoảng từ 2 micromet đến 8 micromet.

Tác giả sáng chế phát hiện ra rằng việc sử dụng các laze nhóm xung với mật độ năng lượng xung theo thể tích nhất định ($\mu\text{J}/\mu\text{m}^3$) bên trong thể tích gần như hình trụ của sự hội tụ đường tốt hơn nếu tạo ra các đường viền đục thủng trong thủy tinh. Điều này có thể đạt được, ví dụ, nhờ sử dụng các laze nhóm xung, tốt hơn với ít nhất 2 xung cho mỗi nhóm và cung cấp các mật độ năng lượng theo thể tích bên trong các thủy tinh bo-alumin silicat kiềm thổ (với lượng kiềm thấp hoặc không có kiềm) khoảng 0,005 $\mu\text{J}/\mu\text{m}^3$ hoặc cao hơn để bảo đảm dấu vết hư hại được tạo thành, nhưng nhỏ hơn 0,100 $\mu\text{J}/\mu\text{m}^3$ để không làm hư hại thủy tinh quá nhiều, ví dụ nằm trong khoảng từ 0,005 $\mu\text{J}/\mu\text{m}^3$ đến 0,100 $\mu\text{J}/\mu\text{m}^3$.

Quy trình đường viền bên trong

Fig.1 minh họa vấn đề cần được giải quyết. Phần 22 là cần được cắt ra khỏi tấm thủy tinh 20. Để nhả đường viền ngoài của phần, các đường nhả bổ sung có thể được cắt

trên tấm thủy tinh lớn hơn mà mở rộng các đường nứt bất kỳ tới các mép của tấm, cho phép thủy tinh vỡ thành các phần mà có thể được lấy ra. Tuy nhiên, đối với các đường viền bên trong như các đường viền cần cho nút home trên điện thoại, việc tạo ra các đường nhả bổ sung sẽ cắt qua phần quan tâm. Theo đó lỗ hoặc rãnh bên trong “được khóa tại chỗ”, và khó lấy ra. Kể cả nếu thủy tinh có ứng suất cao và vết nứt lan truyền từ phần đục thủng này đến phần đục thủng khác trên đường kính ngoài của lỗ hoặc rãnh, thì thủy tinh bên trong vẫn sẽ không nhả, do vật liệu quá cứng và được giữ bởi lực nén.

Một cách thức để nhả lỗ lớn hơn là trước tiên đục thủng đường viền của lỗ, và sau đó được theo sau bởi quy trình gia nhiệt laze, như bởi laze CO₂, mà gia nhiệt miếng thủy tinh trong (inner glass piece) cho tới khi nó mềm và sau đó đủ dễ dàng để rơi ra. Điều này hoạt động tốt đối với các vật liệu mỏng hơn và các đường kính lỗ lớn hơn. Tuy nhiên, khi tỷ lệ phương diện (chiều dày/đường kính) của nút thủy tinh trở nên rất lớn, các phương pháp này gặp nhiều khó khăn hơn. Ví dụ, với các phương pháp này, các lỗ có đường kính 10 mm có thể được nhả khỏi thủy tinh dày 0,7mm, nhưng các lỗ <4mm không thể luôn luôn được nhả trong cùng độ dày của thủy tinh.

Fig.8C minh họa quy trình giải quyết vấn đề này, và đã được sử dụng thành công để tách rời các lỗ có đường kính xuống tới 1,5 mm ra khỏi thủy tinh mã 2320 dày 0,7 mm (có trao đổi ion và không trao đổi ion), và ngoài ra để tạo ra các rãnh với các chiều rộng và các bán kính nhỏ như 1,5 mm. Bước 1 – Phần đục thủng của đường viền thứ nhất 24 được tạo ra trong tấm thủy tinh 20 bằng cách sử dụng quy trình nhóm xung pico giây mà xác định hình dạng mong muốn của đường viền (ví dụ, lỗ, rãnh) cần được cắt. Ví dụ, đối với thủy tinh không trao đổi ion dày 0,7 mm mã 2320 của Corning, các nhóm 210 μ J được sử dụng để tạo bước để đục thủng vật liệu và để tạo ra các dấu vết hư hại hoặc các đường khuyết ở bước 4 μ m. Phụ thuộc vào vật liệu chính xác, các khoảng đặt cách dấu vết hư hại khác cũng có thể được dùng, như nằm trong khoảng từ 1 đến 15 micromet, hoặc nằm trong khoảng từ 3 đến 10 micromet, hoặc nằm trong khoảng từ 3 đến 7 micromet. Đối với các thủy tinh có thể trao đổi ion như các thủy tinh được mô tả trên đây, bước nằm trong khoảng từ 3 đến 7 micromet hoạt động tốt, nhưng đối với các thủy tinh khác như thủy tinh hiển thị Eagle XG, các bước nhỏ hơn có thể được ưu tiên, như nằm trong khoảng từ 1 đến 3 micromet. Theo các phương án được mô tả ở đây, các

công suất laze nhóm xung đặc trưng nằm trong khoảng từ 10 W đến 150 W với các công suất laze nằm trong khoảng từ 25 đến 60 W là đủ (và tối ưu) cho nhiều thủy tinh.

Bước 2 – Đường đục thùng thứ hai 26 được tạo thành để tạo thành đường viền thứ hai bên trong đường viền thứ nhất, bằng cách sử dụng cùng quy trình laze, nhưng ở xấp xỉ vài trăm micromet bên trong đường viền thứ nhất. Bước này là tùy chọn, nhưng thường được ưu tiên, do phần đục thùng phụ được thiết kế để hoạt động như lớp cách nhiệt và để đẩy mạnh sự phân mảnh và lấy ra của vật liệu bên trong lỗ khi dùng bước xử lý tiếp theo.

Bước 3 – Laze CO₂ hội tụ cao 28 được sử dụng để cắt bỏ vật liệu bên trong lỗ, nhờ vạch đường xấp xỉ được xác định bởi đường viền đục thùng thứ hai được mô tả trên đây, hoặc ở bên trong một chút (100µm) đường viền thứ hai. Bước này sẽ làm nóng chảy, cắt bỏ, và dẫn vật liệu thủy tinh bên trong của lỗ hoặc rãnh ra theo cách vật lý. Đối với thủy tinh không trao đổi ion dày 0,7mm mã 2320 có bán sẵn trên thị trường bởi Corning Incorporated, công suất laze CO₂ khoảng 14 W với kích thước vết hội tụ có đường kính khoảng 100 µm được sử dụng, và laze CO₂ được dịch xung quanh đường ở tốc độ khoảng 0,35 m/phút, chạy 1-2 đường dẫn để lấy hoàn toàn vật liệu ra, số lượng đường dẫn bắt đầu phụ thuộc vào dạng hình học chính xác của lỗ hoặc rãnh. Nói chung, đối với bước xử lý này, chùm CO₂ sẽ được xác định là “được hội tụ” nếu nó đạt được cường độ đủ cao sao cho vật liệu thủy tinh được làm nóng chảy và/hoặc được cắt bỏ bởi cường độ cao. Ví dụ, mật độ công suất của vết được hội tụ có thể là khoảng 1750 W/mm², nó sẽ được hoàn thành với các điều kiện được mô tả trên đây, hoặc có thể nằm trong khoảng từ 500 W/mm² đến 5000 W/mm², phụ thuộc vào tốc độ giao nhau mong muốn của chùm laze qua bề mặt.

Ngoài ra, như được thể hiện trên Fig.9, khí hỗ trợ vận tốc cao như không khí hoặc nitơ nén được thổi qua vòi bao quanh đầu laze CO₂ 32. Nó thổi dòng khí được định hướng ở vết laze CO₂ được hội tụ trên thủy tinh, và giúp cường bức vật liệu thủy tinh được nói lỏng ra khỏi nền lớn hơn. Nhiều đường dẫn của laze CO₂, ở cùng bán kính trong hoặc các bán kính trong khác nhau không đáng kể có thể được sử dụng, phụ thuộc vào độ kháng của vật liệu đối với việc lấy ra cường bức. Trong trường hợp nêu trên không khí nén áp suất cao được cường bức qua vòi khoảng 1 mm bằng cách sử dụng áp

suất 80 psi. Vòi được định vị khoảng 1 mm phía trên nền thủy tinh trong khi cắt bỏ, và chùm CO₂ được hội tụ sao cho nó được đưa qua mà không làm mờ nét thông qua khẩu độ của vòi.

Fig.9 thể hiện hình chiếu cạnh của quy trình nêu trên này, để minh họa cách thức việc cắt bỏ bằng CO₂ và vòi không khí sẽ tạo ra vật liệu được nối lỏng và cường bức nó ra khỏi phần bên trong của lỗ hoặc rãnh.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Kết quả mẫu

Fig.10 thể hiện các kết quả của quy trình, đối với thủy tinh phủ cho điện thoại cầm tay điển hình. Dạng hình học của lỗ hình thun (nút home) là khoảng 5,2 mm * 16 mm, với bán kính góc khoảng 1,5 mm, và đối với rãnh, nó dài 15 mm, rộng 1,6 mm, với các bán kính trên các đầu khoảng 0,75 mm. Chất lượng mép rất tốt (Ra khoảng 0,5 micromet, không có sự trầy xước nào quan sát được trên kính hiển vi phóng đại 100X) và sự lấy ra và tách rời vật liệu nhất quán được quan sát qua >100 phần sử dụng quy trình này.

Fig.11 thể hiện hình vẽ được tạo góc của mép bên trong. Mép thể hiện cùng kết cấu sợi (filament structure) hoặc dấu vết hư hại (damage track) có cấu trúc thu được với các đường viền ngoài được thực hiện với cùng quy trình hình thành sợi hoặc dấu vết hư hại, mà được thể hiện để so sánh trên Fig.12. Điều này biểu thị là quy trình cắt bỏ CO₂ được mô tả trên đây đã lấy ra vật liệu bên trong được nối lỏng mà không làm hư hại mép dưới bề mặt thấp, độ nhám thấp và chất lượng cao mà được tạo ra theo cách thông thường bởi quy trình đục thủng pico giây được mô tả trên đây.

Fig.13 thể hiện hình chiếu bằng của mép cắt của rãnh được tạo ra bởi quy trình đã mô tả. Không quan sát được sự trầy xước hoặc rạn nứt trên mép của đường viền. Đường viền này có bán kính khoảng 2 mm.

Như được minh họa trên Fig.14A-Fig.14C, phương pháp để cắt và tách rời các vật liệu trong suốt, và cụ thể hơn là các thành phần thủy tinh TFT, về cơ bản dựa trên việc tạo ra đường đứt gãy 110 được tạo thành từ nhiều đường khuyết thẳng đứng 120 trong vật liệu hoặc chi tiết gia công 130 cần được xử lý bởi laze xung cực ngắn 140. Các

đường khuyết 120 mở rộng, ví dụ, qua chiều dày của tấm thủy tinh, và trực giao với các bề mặt (phẳng) chính của tấm thủy tinh. “Các đường đứt gãy” còn được gọi trong bản mô tả này là “các đường viền”. Trong khi các đường đứt gãy hoặc các đường viền có thể là tuyến tính, như đường đứt gãy 110 được minh họa trên Fig.14A, các đường đứt gãy hoặc các đường viền cũng có thể là phi tuyến tính, có phần cong. Các đường đứt gãy hoặc các đường viền cong có thể được tạo nhờ dịch hoặc là chi tiết gia công 130 hoặc là chùm laze 140 so với nhau theo hai chiều thay vì một chiều, ví dụ. Phụ thuộc vào các thuộc tính vật liệu (sự hấp thụ, CTE, ứng suất, thành phần, v.v.) và các thông số laze được chọn để xử lý vật liệu 130, riêng việc tạo ra đường đứt gãy 110 có thể là đủ để gây ra sự tự tách rời. Trong trường hợp này, không cần thiết có các quy trình tách rời phụ, như các lực căng/uốn hoặc ứng suất nhiệt được tạo ra, ví dụ, nhờ laze CO₂. Như được minh họa trên Fig.14A, nhiều đường khuyết có thể tạo thành đường viền. Mép hoặc bề mặt được tách rời với các đường khuyết được tạo thành bởi đường viền. Sự hấp thụ cảm ứng tạo ra các đường khuyết có thể tạo các hạt trên mép hoặc bề mặt được tách rời với đường kính trung bình nhỏ hơn 3 micromet, dẫn đến quy trình cắt rất sạch.

Trong một số trường hợp, đường đứt gãy được tạo ra là không đủ để tách rời vật liệu theo cách tự phát, và bước phụ có thể là cần thiết. Mặc dù phần thủy tinh được đục thủng có thể được đặt trong buồng như lò để tạo ra sự gia nhiệt hoặc làm nguội khối của phần thủy tinh, để tạo ra ứng suất nhiệt để tách rời các phần dọc theo đường khuyết, quy trình này có thể chậm và có thể yêu cầu các lò hoặc buồng lớn để chứa được nhiều phần hoặc các mảnh lớn hoặc thủy tinh được đục thủng. Nếu mong muốn như vậy, laze thứ hai có thể được sử dụng để tạo ra ứng suất nhiệt để tách rời nó, ví dụ. Trong trường hợp các thành phần thủy tinh TFT, sự tách rời có thể đạt được, sau khi tạo ra đường đứt gãy, nhờ tác dụng lực cơ học hoặc nhờ sử dụng nguồn nhiệt (ví dụ, laze hồng ngoại, ví dụ laze CO₂) để tạo ra ứng suất nhiệt và tách rời bằng lực của vật liệu. Một tùy chọn khác là cho laze CO₂ chỉ bắt đầu sự tách rời và sau đó hoàn thành sự tách rời theo cách thủ công. Sự tách rời laze CO₂ tùy chọn đạt được, ví dụ, với laze cw (continuous wave - sóng liên tục) lệch tiêu phát ra ở 10,6 micromet và với công suất được điều chỉnh nhờ kiểm soát chu trình hoạt động của nó. Sự thay đổi hội tụ (nghĩa là, phạm vi lệch tiêu lên tới và bao gồm kích thước vết hội tụ) được sử dụng để thay đổi ứng suất nhiệt cảm ứng nhờ thay đổi kích thước vết. Các chùm laze lệch tiêu (defocused laser beam) bao gồm

các chùm laze mà tạo kích thước vết lớn hơn kích thước vết giới hạn nhiễu xạ, nhỏ nhất trên bậc của kích thước của bước sóng laze. Ví dụ, các kích thước vết laze CO₂ nằm trong khoảng từ 1 đến 20 mm, ví dụ nằm trong khoảng từ 1 đến 12 mm, nằm trong khoảng từ 3 đến 8 mm, hoặc khoảng 7 mm, 2 mm, và 20 mm có thể được sử dụng cho các laze CO₂, ví dụ, với laze CO₂ bước sóng 10,6 μ m. Cũng có thể sử dụng các laze khác, mà bước sóng phát ra của chúng cũng được hấp thụ bởi thủy tinh, như các laze với các bước sóng phát ra trong khoảng từ 9 đến 11 micromet, ví dụ. Trong các trường hợp này, laze CO₂ với các mức công suất nằm trong khoảng từ 100 đến 400 W có thể được sử dụng, và chùm có thể được quét ở các tốc độ nằm trong khoảng từ 50 đến 500 mm/giây dọc theo hoặc liên kết với các đường khuyết, mà tạo ra ứng suất nhiệt đủ để gây ra sự tách rời. Các mức công suất, kích thước vết, và tốc độ quét chính xác được chọn trong các khoảng quy định có thể phụ thuộc vào việc sử dụng vật liệu, chiều dày của nó, CTE (coefficient of thermal expansion - hệ số giãn nở nhiệt), mô đun đàn hồi, do tất cả các hệ số này ảnh hưởng đến lượng ứng suất nhiệt được truyền bởi tốc độ riêng của sự tích tụ năng lượng ở vị trí đã cho trong không gian. Nếu kích thước vết quá nhỏ (nghĩa là <1 mm), hoặc công suất laze CO₂ quá cao (>400W), hoặc tốc độ quét quá chậm (nhỏ hơn 10 mm/giây), thì thủy tinh có thể bị quá nhiệt, tạo ra sự cắt bỏ, nóng chảy hoặc các vết nứt được tạo ra do nhiệt trong thủy tinh, chúng không được mong muốn, do chúng sẽ làm giảm độ bền mép của các phần được tách rời. Tốt hơn nếu tốc độ quét chùm laze CO₂ >50 mm/giây, để gây ra sự tách rời phần có hiệu quả và đáng tin cậy. Tuy nhiên, nếu kích thước vết được tạo ra bởi laze CO₂ là quá rộng (>20 mm), hoặc công suất laze quá thấp (< 10W, hoặc trong một số trường hợp <30W), hoặc tốc độ quét quá cao (>500 mm/giây), thì sự gia nhiệt không đủ diễn ra mà dẫn đến ứng suất nhiệt quá thấp để gây ra sự tách rời phần đáng tin cậy.

Ví dụ, theo một số phương án, có thể sử dụng công suất laze CO₂ là 200 W, với đường kính vết ở bề mặt thủy tinh xấp xỉ 6 mm, và tốc độ quét 250 mm/giây để gây ra sự tách rời phần cho thủy tinh Corning Eagle XG® dày 0,7 mm mà đã được đục thủng bởi laze pico giây nêu trên. Ví dụ nền thủy tinh Corning Eagle XG® dày hơn có thể yêu cầu nhiều nhiệt năng laze CO₂ hơn cho mỗi thời gian đơn vị để tách rời so với nền Eagle XG® mỏng hơn, hoặc thủy tinh với CTE thấp hơn có thể yêu cầu nhiều nhiệt năng laze CO₂ hơn để tách rời so với thủy tinh với CTE thấp hơn. Sự tách rời dọc theo đường được

đục thủng sẽ xảy ra rất nhanh (nhỏ hơn 1 giây) sau khi vết CO₂ đi qua vị trí đã cho, ví dụ trong 100 mili giây, trong 50 mili giây, hoặc trong 25 mili giây.

Khoảng cách, hoặc tính chu kỳ, giữa các đường khuyết 120 liên kế dọc theo hướng của các đường đứt gãy 110, theo một số phương án, ví dụ, có thể lớn hơn 0,1 micromet và nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 20 micromet. Ví dụ, theo một số phương án, tính chu kỳ giữa các đường khuyết 120 liên kế có thể nằm trong khoảng từ 0,5 đến 15 micromet, hoặc nằm trong khoảng từ 3 đến 10 micromet, hoặc nằm trong khoảng từ 0,5 micromet đến 3,0 micromet. Ví dụ, theo một số phương án tính chu kỳ giữa các đường khuyết 120 liên kế có thể nằm trong khoảng từ 0,5 micromet đến 1,0 micromet.

Có một số phương pháp để tạo ra đường khuyết. Phương pháp quang học để tạo thành sự hội tụ đường có thể có nhiều dạng, sử dụng các chùm laser được tạo dạng bán rún và các thấu kính hình cầu, các thấu kính axicon, các phần tử nhiễu xạ, hoặc các phương pháp khác để tạo thành vùng tuyến tính có cường độ cao. Loại laser (pico giây, femto giây, v.v.) và bước sóng (IR, xanh, UV, v.v.) cũng có thể được thay đổi, miễn là đạt được các đường độ quang học thích đáng để tạo ra sự đánh thủng của vật liệu nền trong vùng hội tụ để tạo ra sự đánh thủng của vật liệu nền hoặc chi tiết gia công thủy tinh, thông qua các hiệu ứng quang học phi tuyến tính. Tốt hơn nếu, laser là laser nhóm xung cho phép kiểm soát sự tích tụ năng lượng với thời gian nhờ điều chỉnh số lượng xung bên trong nhóm đã cho.

Theo sáng chế, laser xung cực ngắn được sử dụng để tạo ra đường khuyết thẳng đứng có tỷ lệ phương diện cao theo cách thức nhất quán, có thể kiểm soát và có thể lặp lại. Các chi tiết của thiết lập quang học mà cho phép tạo ra đường khuyết thẳng đứng này được mô tả sau đây, và trong đơn yêu cầu cấp bằng sáng chế Hoa Kỳ số 61/752,489 được nộp ngày 15/01/2013, toàn bộ nội dung của tài liệu này được kết hợp toàn bộ vào đây để tham khảo. Bản chất của khái niệm này là để sử dụng thiết bị quang học để tạo ra sự hội tụ đường của chùm laser cường độ cao bên trong phần trong suốt. Một phiên bản của khái niệm này là để sử dụng phần tử thấu kính axicon trong cụm thiết bị thấu kính quang học để tạo ra vùng có tỷ lệ phương diện cao, các vi kênh không vát sử dụng các chùm Bessel cực ngắn (khoảng thời gian các pico giây hoặc femto giây). Nói cách khác, axicon ngưng tụ chùm laser vào trong vùng cường độ cao có dạng hình trụ và tỷ lệ

phương diện cao (chiều dài dài và đường kính nhỏ). Nhờ cường độ cao được tạo ra bởi chùm laser được ngưng tụ, sự tương tác phi tuyến tính của trường điện từ của laser và vật liệu nền xảy ra và năng lượng laser được chuyển đến nền để tác động hình thành các phần khuyết mà trở thành các thành phần của đường đứt gãy. Tuy nhiên, điều quan trọng cần nhận biết là trong các khu vực của vật liệu tại đó cường độ năng lượng laser không cao (ví dụ, thể tích thủy tinh của nền bao quanh đường hội tụ trung tâm), vật liệu là trong suốt đối với laser và không có cơ chế để chuyển năng lượng từ laser đến vật liệu. Kết quả là, không có gì xảy ra đối với thủy tinh hoặc chi tiết gia công khi cường độ laser ở dưới ngưỡng phi tuyến tính.

Các phương pháp được mô tả trên đây đưa ra các lợi ích sau mà có thể chuyển thành các khả năng xử lý laser tăng cường và tiết kiệm chi phí và theo đó là sản xuất với chi phí thấp hơn. Quy trình cắt đề xuất:

1) Sự tách rời hoàn toàn của các đường viền bên trong đang được cắt: các phương pháp được mô tả trên đây có khả năng tách rời/cắt hoàn toàn các lỗ và rãnh theo cách sạch và có kiểm soát trong thủy tinh có thể trao đổi ion (như thủy tinh Gorilla®, thủy tinh mã 2318, 2319, 2320 của Corning hoặc dạng tương tự) như được sản xuất bởi quy trình kéo dung hợp, hoặc các quy trình tạo thành thủy tinh khác, trước khi phần thủy tinh đã trải qua gia cường hóa học.

2) Sự tách rời của các lỗ/rãnh với các kích thước rất nhỏ: Các quy trình khác có thể được sử dụng để gia nhiệt và gây ra sự làm mềm của nút thủy tinh mà có thể cho phép nó rơi ra khỏi tấm thủy tinh. Tuy nhiên, khi tỷ lệ phương diện (chiều dày/đường kính) của nút thủy tinh trở nên rất lớn, thì các phương pháp này thất bại. Ví dụ, việc gia nhiệt (không phải cắt bỏ) của nút thủy tinh bên trong sẽ làm rơi các lỗ có đường kính 10 mm ra khỏi thủy tinh dày 0,7 mm, nhưng nếu đường kính của lỗ được giảm còn 4 mm, thì các quy trình này sẽ không hoạt động. Tuy nhiên, quy trình được đề xuất trong bản mô tả này đã được sử dụng để lấy ra các nút thủy tinh có các kích thước nhỏ tới 1,5 mm (đường kính của hình tròn, hoặc chiều rộng của rãnh) trong thủy tinh dày 0,7 mm.

3) Các phần khuyết dưới bề mặt giảm và chất lượng mép rất tốt: Do sự tương tác xung cực ngắn giữa laser và vật liệu, nên có sự tương tác nhiệt nhỏ và theo đó là vùng bị tác động nhiệt tối thiểu mà có thể dẫn đến ứng suất và sự tạo vết vi nứt không mong

muốn. Ngoài ra, thiết bị quang học mà ngưng tụ chùm laze vào trong thủy tinh tạo ra các đường khuyết mà thường có đường kính nằm trong khoảng từ 2 đến 5 micromet trên bề mặt của phần. Sau khi tách rời, hư hại dưới bề mặt $<75\text{ }\mu\text{m}$, và có thể được điều chỉnh để $<25\text{ }\mu\text{m}$. Độ nhám của bề mặt được tách rời (hoặc mép cắt), đặc biệt là do kích thước vết hoặc đường kính vết của đường tiêu. Độ nhám của bề mặt (cắt) được tách rời mà có thể, ví dụ, nằm trong khoảng từ 0,1 đến 1 micromet hoặc ví dụ nằm trong khoảng từ 0,25 đến 1 micromet, có thể được xác định đặc trưng, ví dụ, bởi thống kê độ nhám bề mặt R_a (trung bình cộng độ nhám của các trị số tuyệt đối của các chiều cao của bề mặt được lấy mẫu, mà bao gồm các chiều cao của chỗ lồi do đường kính vết của đường tiêu). Độ nhám bề mặt được tạo ra bởi quy trình này thường $<0,5\text{ }\mu\text{m}$ (R_a), và có thể thấp tới $0,1\text{ }\mu\text{m}$ (R_a). Điều này có tác động lớn lên độ bền mép của phần do độ bền bị ảnh hưởng bởi số lượng phần khuyết, phân bố thống kê của chúng về kích thước và chiều sâu. Các số lượng này càng cao thì các mép của phần sẽ càng yếu. Ngoài ra, nếu các quy trình hoàn thiện cơ học bất kỳ như mài và đánh bóng được sử dụng sau đó để biến đổi hình dạng mép, thì lượng vật liệu lấy ra được yêu cầu sẽ nhỏ hơn đối với các phần có ít hư hại dưới bề mặt hơn. Điều này làm giảm hoặc loại bỏ các bước hoàn thiện, chi phí cho phần thấp hơn. Quy trình nhả lỗ và rãnh được mô tả ở đây tận dụng hoàn toàn ưu điểm của mép chất lượng cao được tạo ra bởi quy trình đục thủng laze pico giây hội tụ đường này – nó bảo đảm rằng việc lấy ra của thủy tinh bên trong vật liệu được thực hiện theo cách thức mà nhả thủy tinh theo cách sạch dọc theo đường đục thủng này, và không gây ra hư hại cắt bỏ, tạo vết vi nứt, hoặc các phần khuyết khác đối với mép của phần được mong muốn.

Tốc độ: Không giống như các quy trình sử dụng laze được hội tụ để đơn thuần cắt bỏ vật liệu xung quanh đường viền trong, quy trình laze này là quy trình một đường dẫn cho đường đục thủng. Đường viền lỗ được đục thủng có thể được tạo ra bởi quy trình laze pico giây được mô tả ở đây ở các tốc độ nằm trong khoảng từ 80 đến 1000 mm/giây, chỉ phụ thuộc vào các khả năng gia tốc của các giai đoạn liên quan. Điều này trái ngược với các phương pháp khoan lỗ và rãnh cắt bỏ, trong đó vật liệu được lấy ra “từng lớp” và yêu cầu nhiều đường dẫn hoặc các thời gian lưu trú dài ở mỗi vị trí của chùm laze.

Độ sạch của quy trình: các phương pháp được mô tả trên đây có khả năng tách rời/cắt thủy tinh hoặc các vật liệu giòn trong suốt khác theo cách sạch và có kiểm soát. Rất thách thức khi sử dụng các quy trình laser nhiệt hoặc cắt bỏ thông thường bởi vì chúng có xu hướng kích hoạt các vùng bị tác động nhiệt mà gây ra các vết vi nứt và sự phân mảnh của thủy tinh thành một vài mảnh nhỏ hơn. Các đặc tính của các xung laser và các tương tác cảm ứng với vật liệu của phương pháp được đề xuất tránh được tất cả các vấn đề này bởi vì chúng xảy ra trong thang thời gian rất ngắn và độ trong suốt của vật liệu đối với sự bức xạ laser giảm thiểu các hiệu ứng nhiệt cảm ứng. Do đường khuyết được tạo ra bên trong vật thể, nên sự có mặt của mảnh vỡ và các hạt dính vào trong bước cắt được loại bỏ hầu hết. Nếu có các hạt bất kỳ do đường khuyết được tạo ra, thì chúng được chứa một cách chắc chắn cho tới khi phần được tách rời.

Cắt các biên dạng và hình dạng phức tạp thành các kích thước khác nhau

Các phương pháp được mô tả trên đây cho phép cắt/tách rời thủy tinh và các nền khác theo nhiều dạng và hình dạng, đây là hạn chế trong các kỹ thuật cạnh tranh khác. Các bán kính chặt có thể được cắt (<2 mm), cho phép tạo ra các lỗ và rãnh nhỏ (như được yêu cầu cho các loa/micrô trong ứng dụng điện thoại di động). Ngoài ra, do các đường khuyết kiểm soát mạnh vị trí của sự lan truyền vết nứt bất kỳ, nên các phương pháp đó đưa ra sự kiểm soát lớn đối với vị trí trong không gian của vết cắt, và cho phép việc cắt và tách rời của các kết cấu và đặc trưng nhỏ tới mức vài trăm micromet.

Loại bỏ các bước xử lý

Quy trình sản xuất các tấm thủy tinh từ panen thủy tinh thành kích thước và hình dạng cuối cùng liên quan đến một số bước mà bao gồm cắt panen, cắt thành kích thước, hoàn thiện và tạo hình mép, làm mỏng các phần xuống chiều dày mục tiêu của chúng, đánh bóng, và thậm chí trong một số trường hợp là gia cường hóa học. Việc loại bỏ bước bất kỳ trong số các bước này sẽ cải thiện phí tổn sản xuất về thời gian xử lý và chi phí về vốn. Các phương pháp được mô tả trên đây có thể giảm số lượng bước nhờ, ví dụ:

Việc tạo ra phần khuyết mép và mảnh vụn giảm đi - tiềm năng loại bỏ các trạm giặt và sấy khô.

Cắt mẫu trực tiếp thành kích thước, hình dạng và chiều dày cuối cùng của nó - loại bỏ nhu cầu đối với các đường hoàn thiện.

Theo đó, theo một số phương án, vật phẩm bằng thủy tinh có ít nhất một mép đường viền trong với nhiều đường khuyết mở rộng vuông góc với mặt của tấm thủy tinh ít nhất là 250 μm , mỗi trong số các đường khuyết có đường kính nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 5 μm . Ví dụ, vật phẩm bằng thủy tinh có ít nhất một mép đường viền trong có nhiều đường khuyết mở rộng vuông góc với mặt phẳng chính (nghĩa là, lớn so với các bên) của tấm thủy tinh ít nhất là 250 μm , mỗi trong số các đường khuyết có đường kính nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 5 μm . Theo một số phương án, đường kính hoặc chiều rộng nhỏ nhất của đường viền bên trong được tạo thành bởi mép đường viền trong nhỏ hơn 5 mm, ví dụ nó có thể có chiều rộng (hoặc đường kính) nằm trong khoảng từ 0,1 mm đến 3 mm, ví dụ, nằm trong khoảng từ 0,5 mm đến 2 mm. Theo một số phương án, vật phẩm bằng thủy tinh bao gồm thủy tinh trao đổi ion sau. Theo một số phương án, các đường khuyết mở rộng toàn bộ chiều dày của ít nhất một mép đường viền trong. Theo ít nhất một số phương án, ít nhất một mép đường viền trong có độ nhám bề mặt R_a nhỏ hơn khoảng 0,5 μm . Theo ít nhất một số phương án, ít nhất một mép đường viền trong có hư hại dưới bề mặt lên tới chiều sâu nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 75 μm . Theo ít nhất một số phương án của vật phẩm bằng thủy tinh, các đường khuyết mở rộng toàn bộ chiều dày của mép. Ví dụ, khoảng cách giữa các đường khuyết nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 7 μm .

Các hướng dẫn liên quan về tất cả các bằng sáng chế, đơn được công bố và các tài liệu tham khảo được trích dẫn trong bản mô tả này được kết hợp toàn bộ vào đây để tham khảo.

Mặc dù các phương án làm ví dụ đã được bộc lộ ở đây, nhưng những người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật sẽ hiểu rằng các thay đổi khác nhau về dạng và chi tiết có thể được thực hiện trong các phương án này mà không lệch khỏi phạm vi bảo hộ của sáng chế được bao hàm bởi các điểm yêu cầu bảo hộ kèm theo.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Phương pháp tạo thành vật phẩm bằng thủy tinh bao gồm các bước:

hội tụ chùm laze thứ nhất xung vào trong đường tiêu chùm laze;

hướng đường tiêu chùm laze vào trong nền thủy tinh ở vị trí thứ nhất, đường tiêu chùm laze tạo ra sự hấp thụ cảm ứng bên trong nền thủy tinh, sự hấp thụ cảm ứng tạo dấu vết hư hại dọc theo đường tiêu chùm laze bên trong nền thủy tinh;

dịch nền thủy tinh và chùm laze xung so với nhau bắt đầu từ vị trí thứ nhất dọc theo đường viền kín thứ nhất, theo đó khoan laze nhiều lỗ dọc theo đường viền kín thứ nhất bên trong nền thủy tinh, trong đó đường viền kín thứ nhất xác định miếng thủy tinh trong; và

gia nhiệt miếng thủy tinh trong với chùm laze thứ hai sao cho miếng thủy tinh trong mềm và rơi khỏi nền thủy tinh.

2. Phương pháp theo điểm 1, phương pháp này còn bao gồm bước gia nhiệt nền thủy tinh theo đó gây ra ứng suất trong nền thủy tinh mà tách rời miếng thủy tinh trong khỏi nền thủy tinh dọc theo đường viền kín thứ nhất.

3. Phương pháp theo điểm 2, trong đó bước gia nhiệt nền thủy tinh bao gồm vạch chùm laze thứ ba hồng ngoại qua đường viền kín thứ nhất.

4. Phương pháp theo điểm 3, trong đó bước sóng của chùm laze thứ ba hồng ngoại nằm trong khoảng từ khoảng 9 micromet đến khoảng 11 micromet.

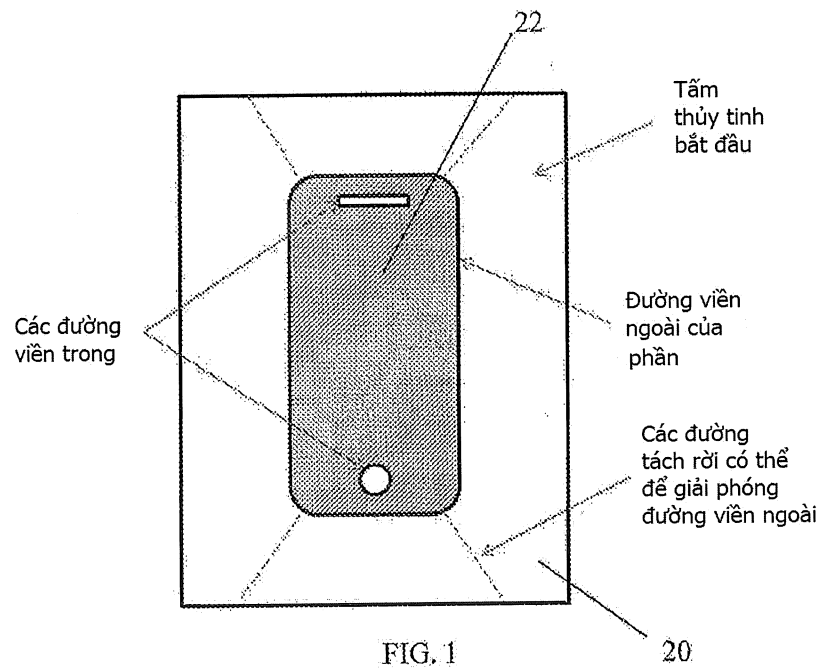
5. Phương pháp theo điểm 4, trong đó chùm laze thứ ba hồng ngoại là chùm laze lệch tiêu.

6. Phương pháp theo điểm 1, trong đó khoảng đặt cách giữa các dấu vết hư hại liên kề trong nhiều dấu vết hư hại nằm trong khoảng từ khoảng 0,5 micromet đến khoảng 15 micromet.

7. Phương pháp theo điểm 1, trong đó đường viền kín thứ nhất là hình tròn.

8. Phương pháp theo điểm 1, phương pháp này còn bao gồm bước cắt các đường nhả giữa mép của nền thủy tinh và đường viền thứ hai ở ngoài đường viền kín thứ nhất.

9. Phương pháp theo điểm 1, trong đó độ nhám bề mặt Ra của mép cắt của nền thủy tinh dọc theo đường viền kín thứ nhất nhỏ hơn khoảng 0,5 micromet.
10. Phương pháp theo điểm 9, trong đó hư hại dưới bề mặt vuông góc với mép cắt mở rộng nhỏ hơn 75 micromet vào trong nền thủy tinh.
11. Phương pháp theo điểm 1, trong đó hư hại dưới bề mặt nhỏ hơn khoảng 25 micromet.
12. Phương pháp theo điểm 1, trong đó nhiều dấu vết hư hại mở rộng vuông góc với các bề mặt chính của nền thủy tinh.
13. Vật phẩm bằng thủy tinh được tạo ra bởi phương pháp theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 12.



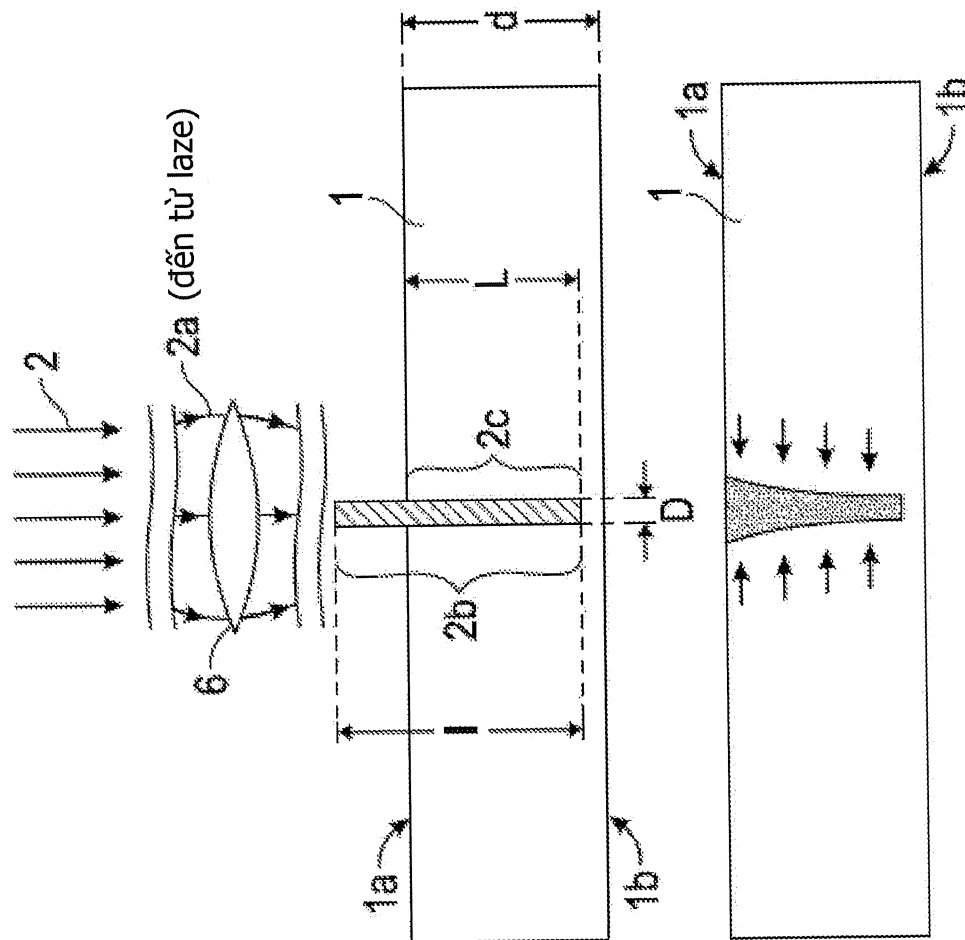
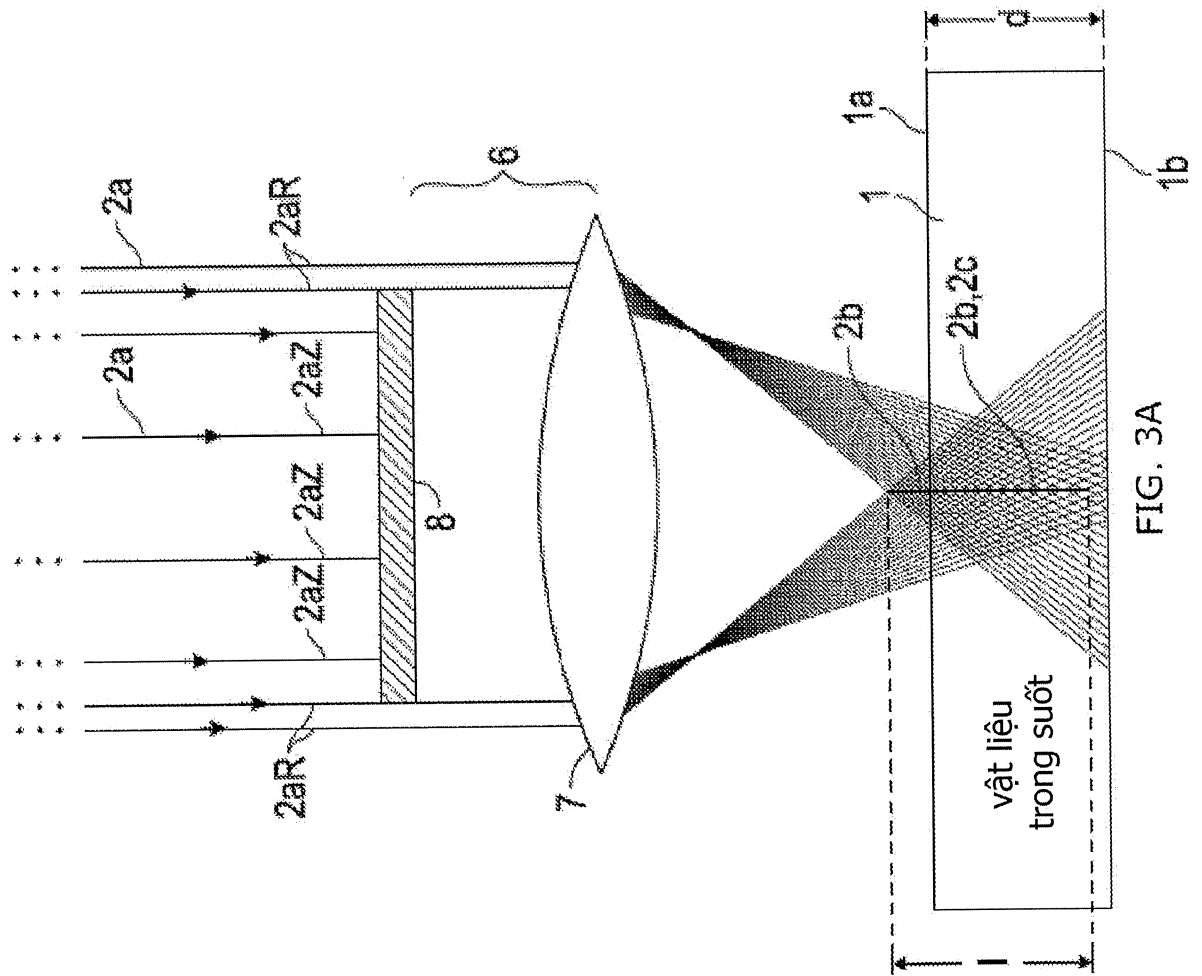


FIG. 2A

FIG. 2B

đến từ 3



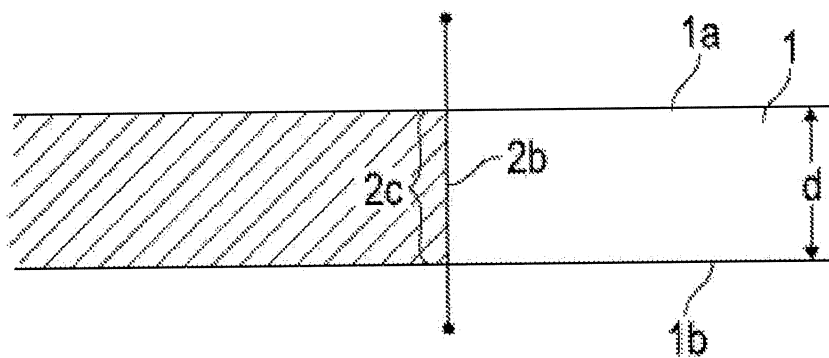


FIG. 3B-1

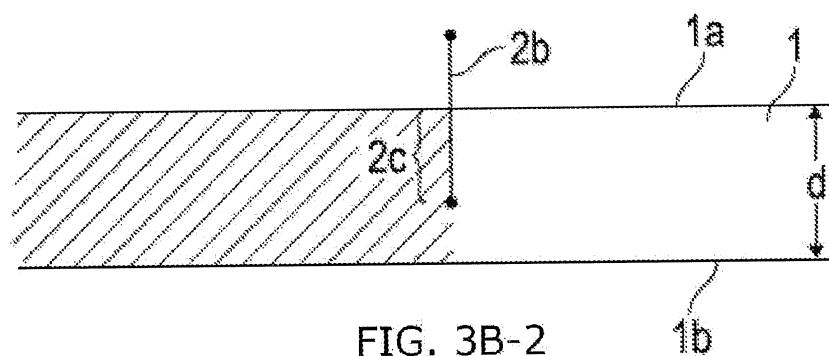


FIG. 3B-2

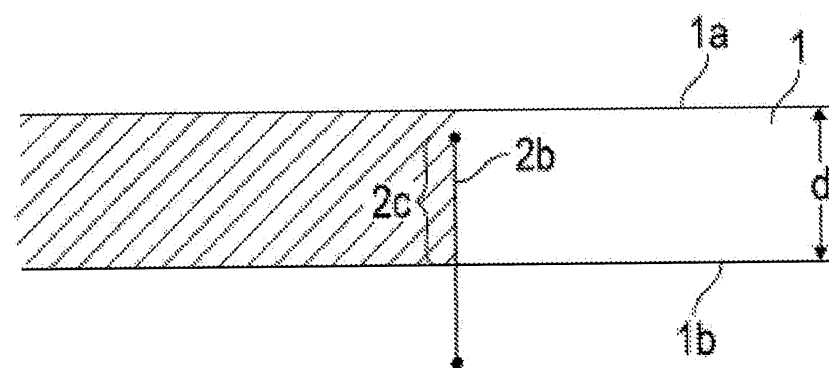


FIG. 3B-3

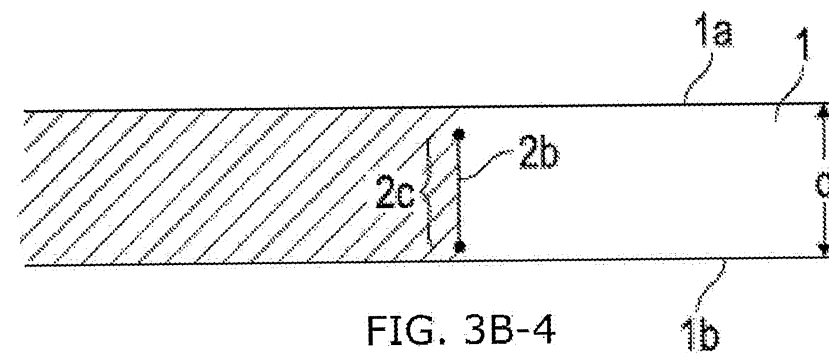


FIG. 3B-4

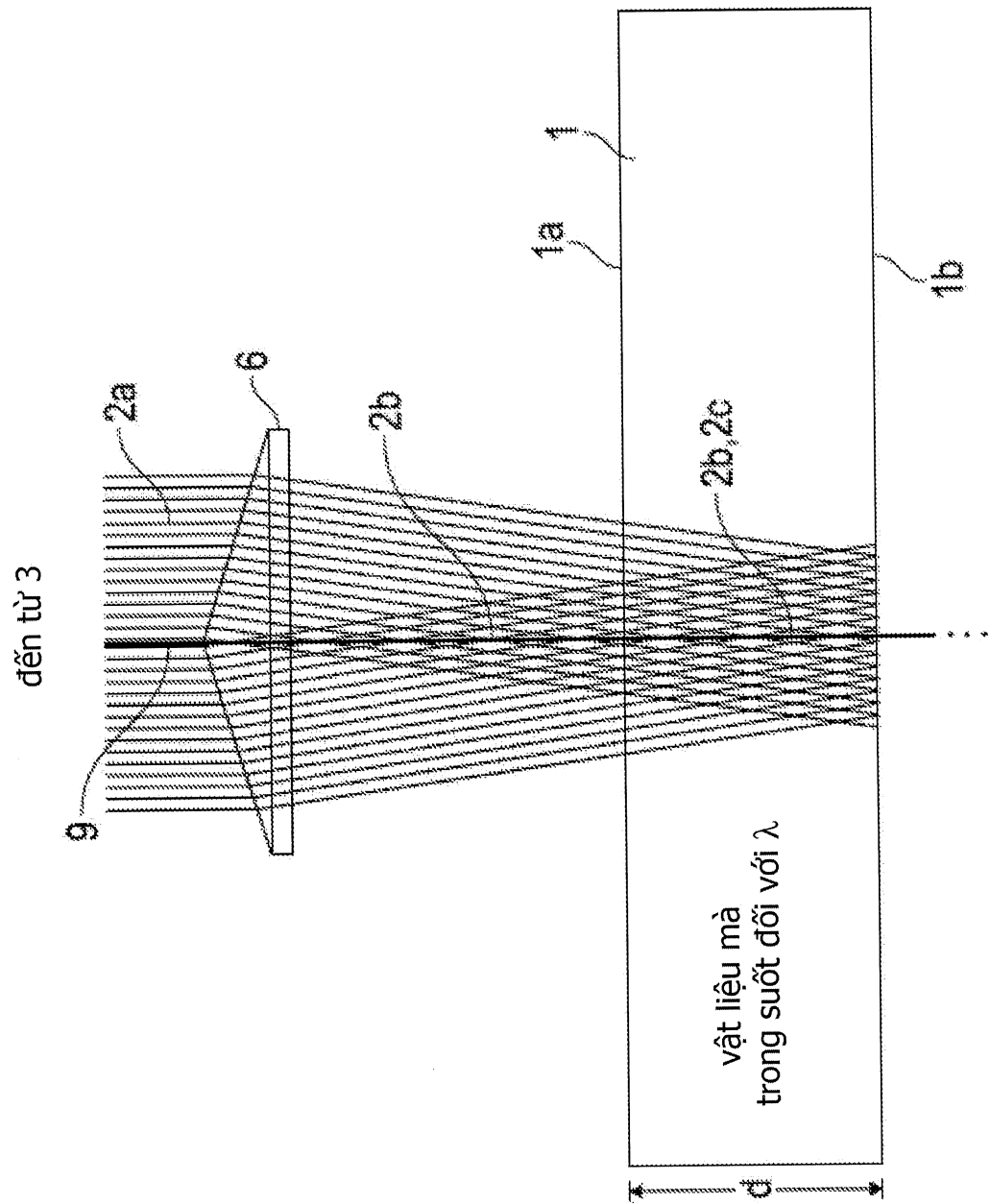
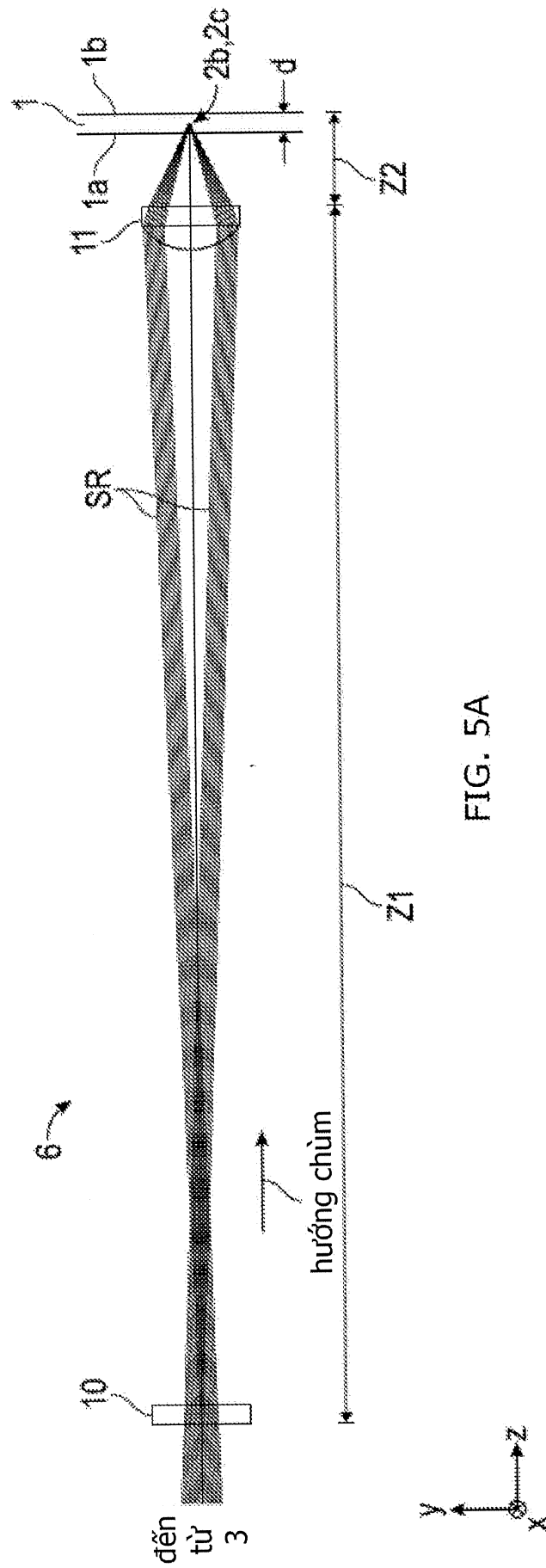
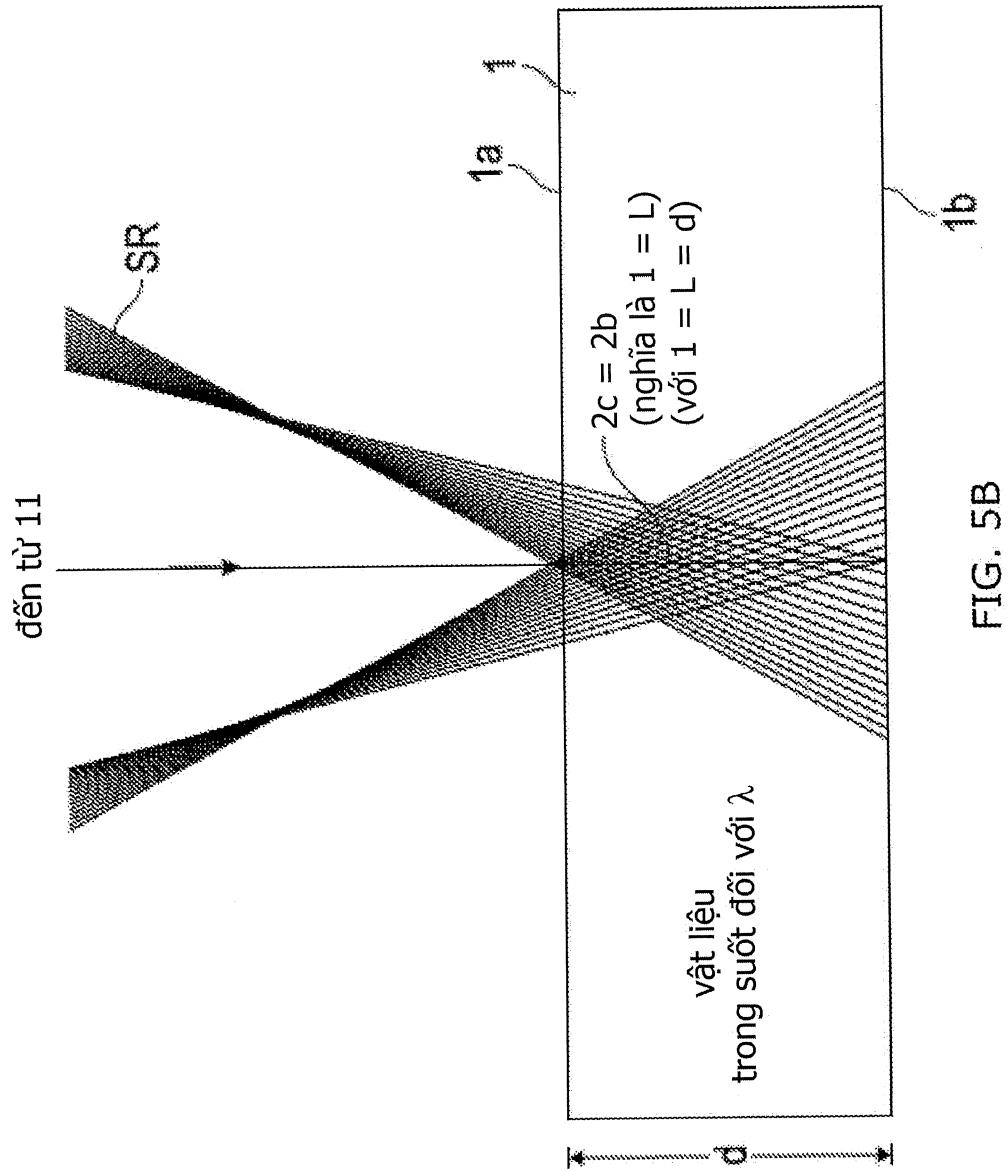


FIG. 4





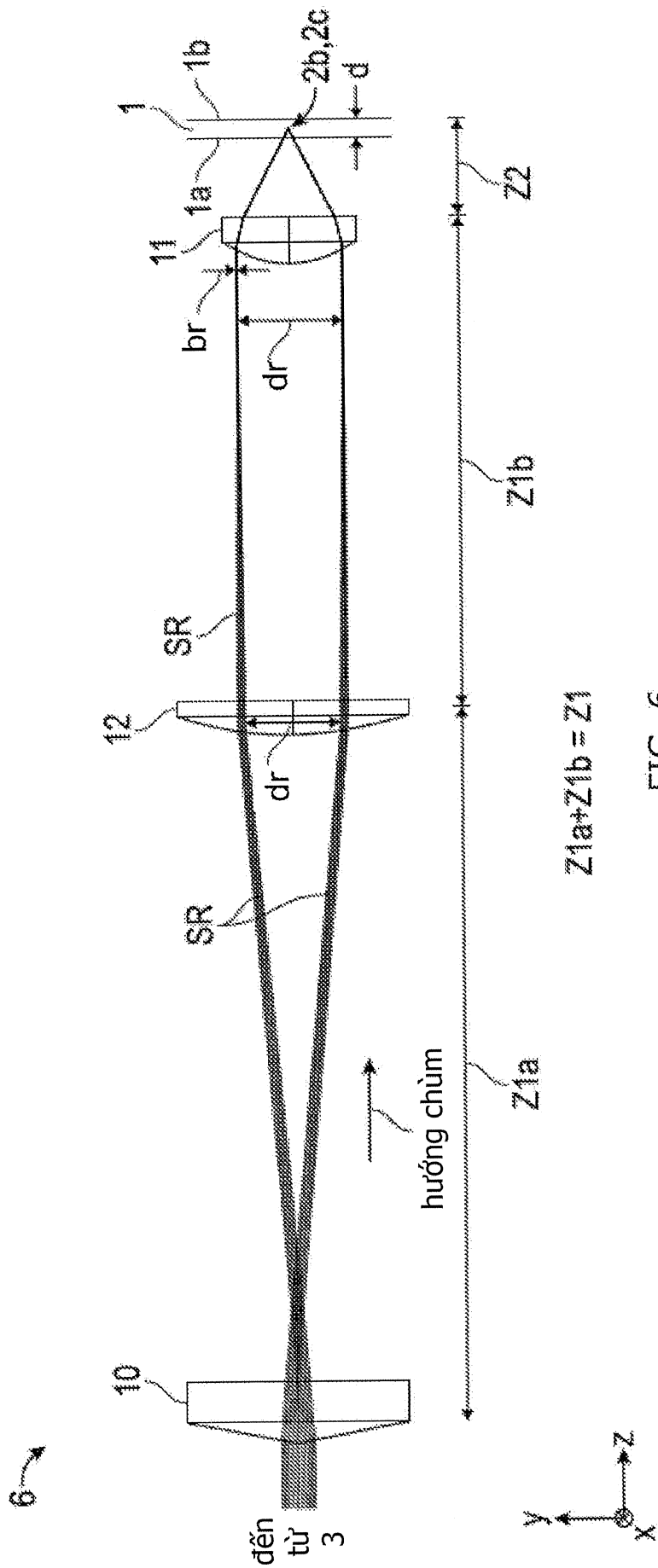


FIG. 6

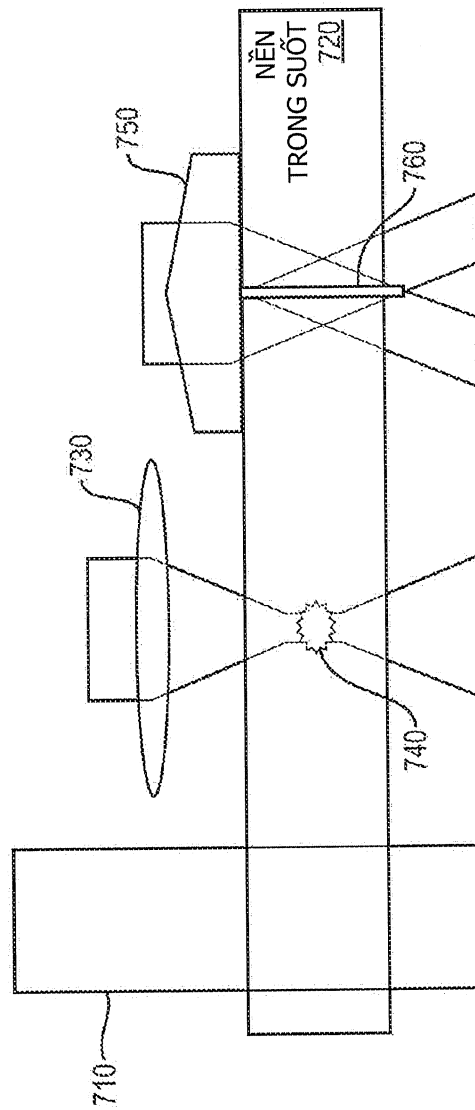


FIG. 7C

FIG. 7B

FIG. 7A

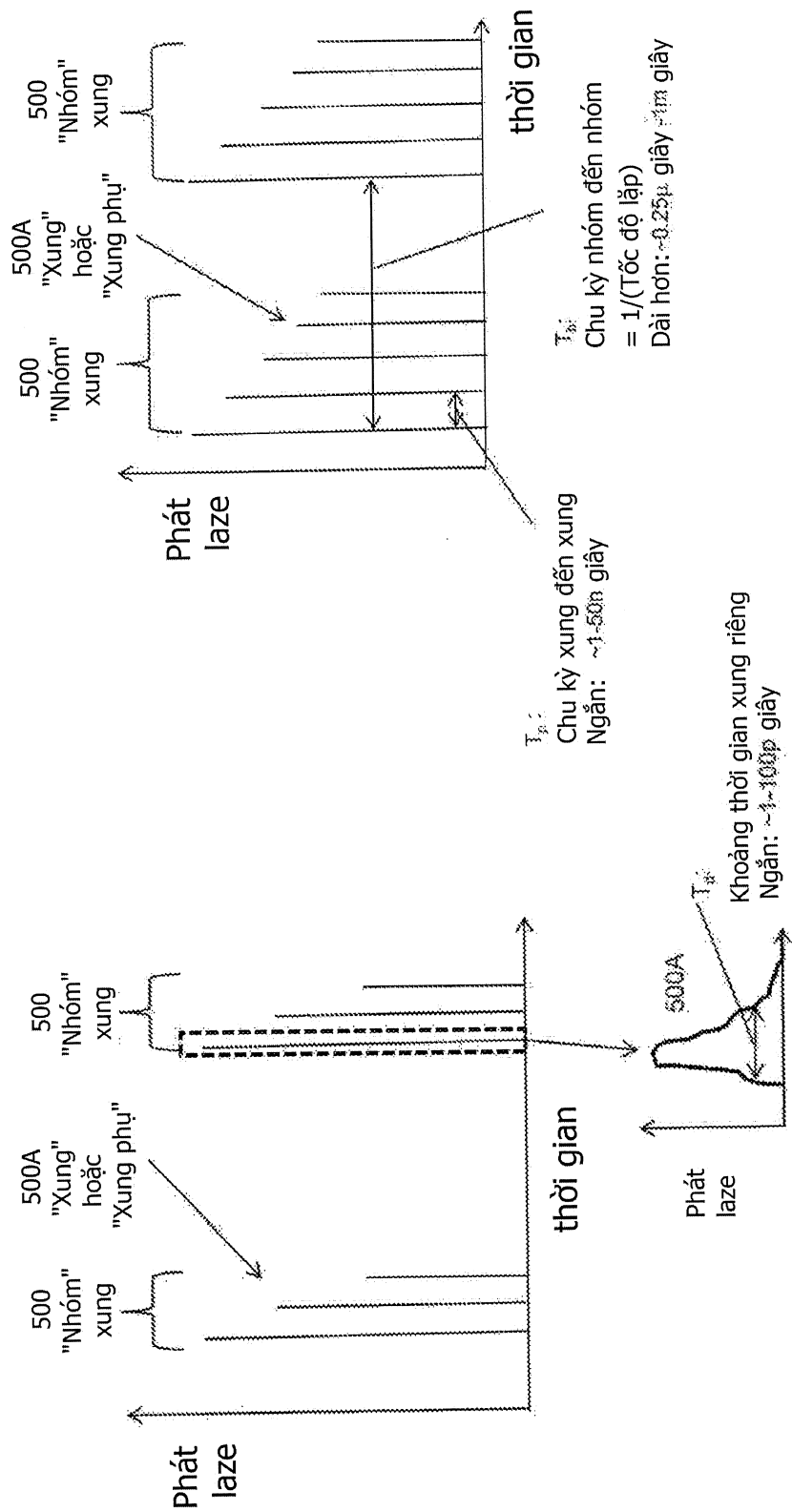


FIG. 8A

FIG. 8B

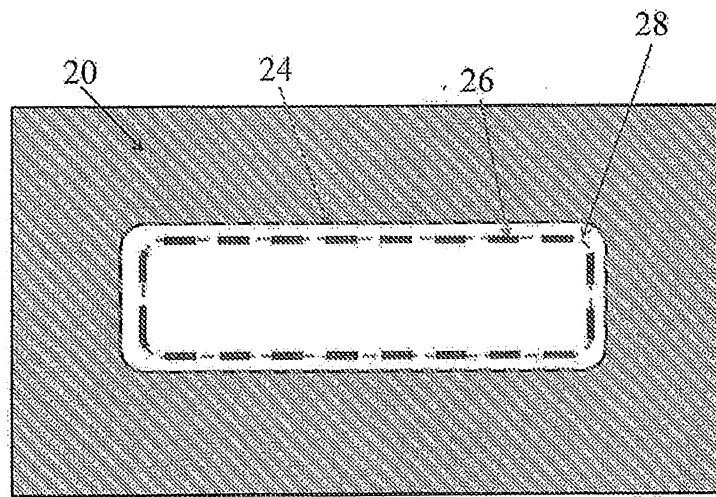


FIG. 8C

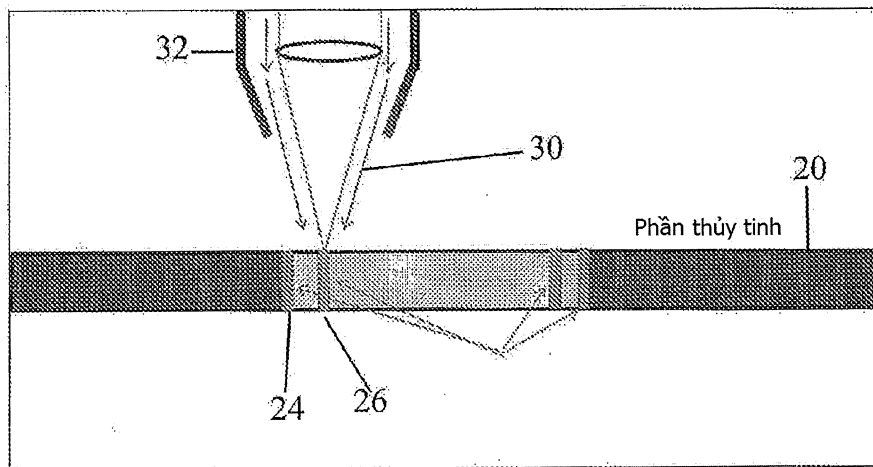


FIG. 9

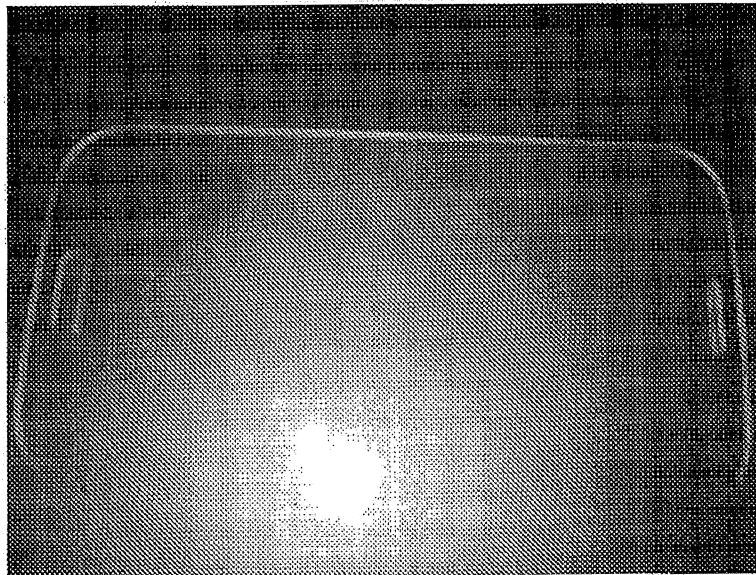


FIG. 10.

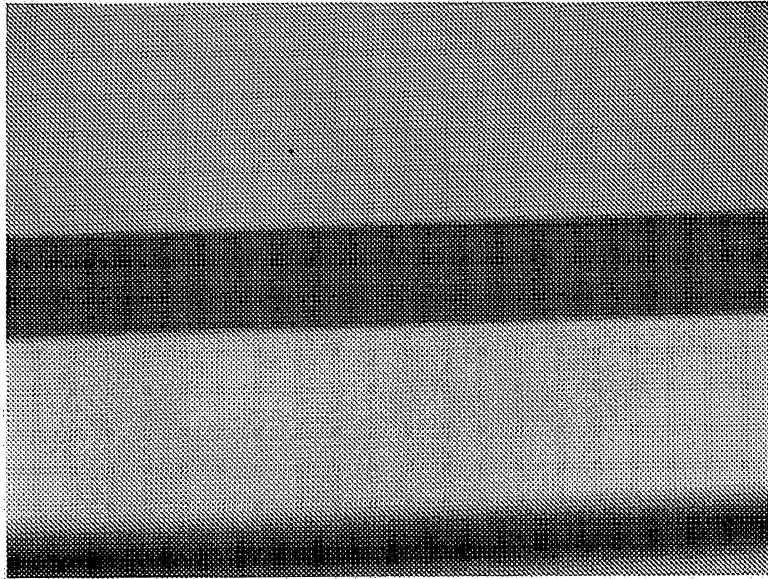


FIG. 11

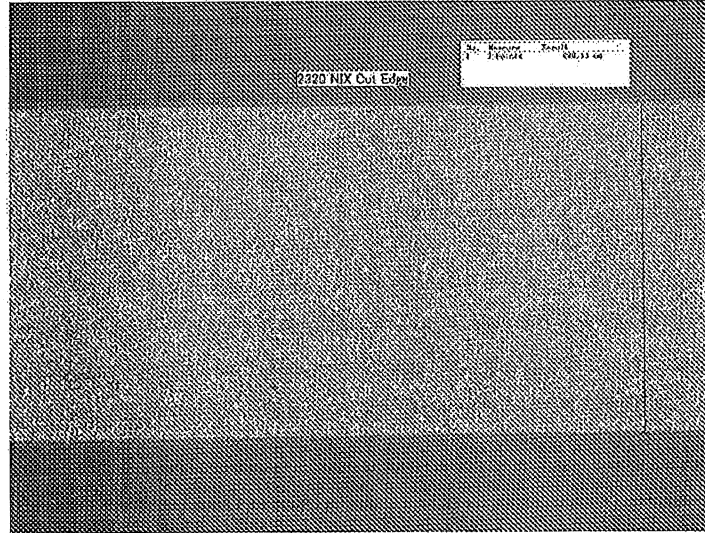


FIG. 12

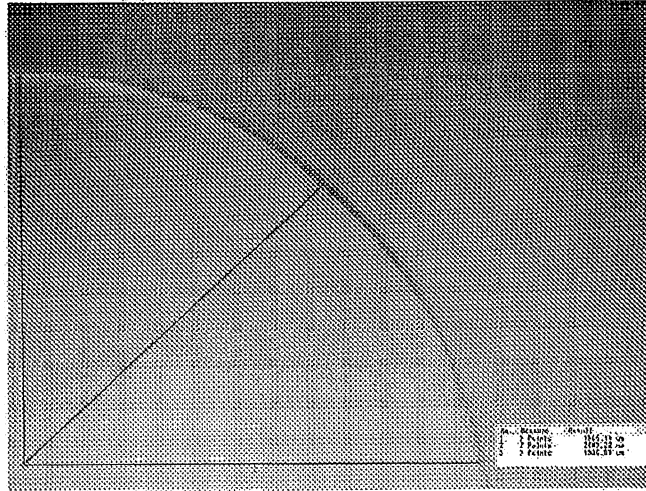


FIG. 13

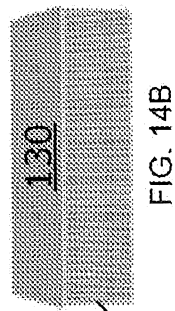
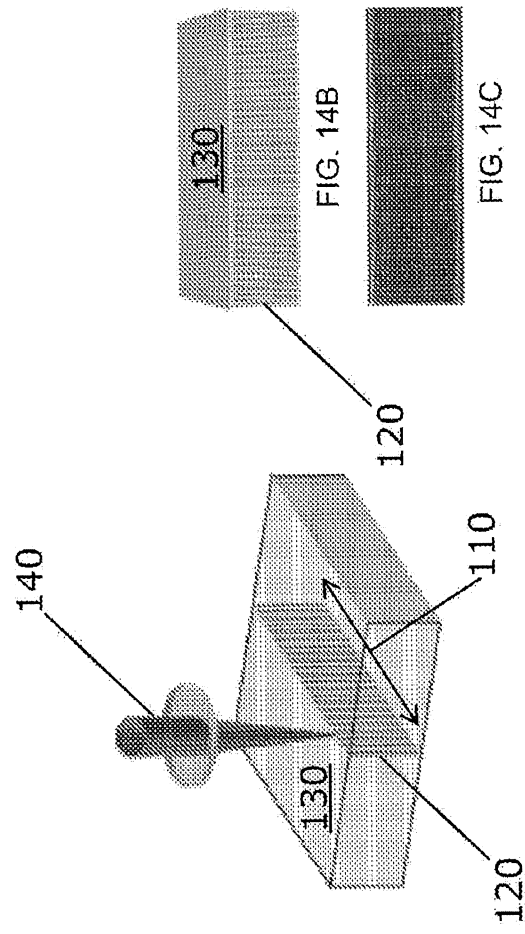


FIG. 14B



FIG. 14C

FIG. 14A