



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

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

(11)



1-0024072

(51)⁷ G21B 1/15

(13) B

(21) 1-2015-00868

(22) 04/09/2013

(86) PCT/US2013/058093 04/09/2013

(87) WO2014/039579 13/03/2014

(30) 2012137795 04/09/2012 RU; 61/775,444 08/03/2013 US

(45) 25/06/2020 387

(43) 26/10/2015 331A

(73) TAE Technologies, Inc. (US)

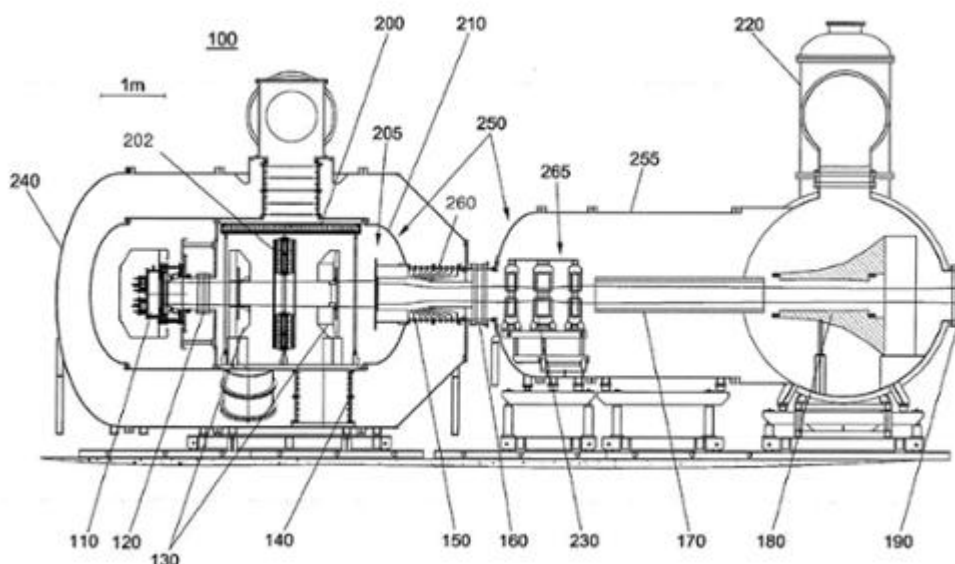
19631 Pauling, Foothill Ranch, California 92610, United States of America

(72) BELCHENKO, Yuri I. (RU); BURDAKOV, Alexander V. (RU); DAVYDENKO, Vladimir I. (RU); DIMOV, Gennady I. (RU); IVANOV, Alexander A. (RU); KOBETS, Valeery V. (RU); SMIRNOV, Artem N. (RU); BINDERBAUER, Michl W. (AT); SEVIER, Donald L. (US); RICHARDSON, Terrence E. (US).

(74) Công ty Luật TNHH T&G (TGVN)

(54) MÁY PHUN CHÙM DỰA TRÊN ION ÂM

(57) Sáng chế đề cập đến máy phun chùm trung tính dựa trên ion âm bao gồm nguồn ion âm, bộ phận gia tốc và bộ phận trung hòa để tạo ra chùm trung tính khoảng 5 MW có năng lượng nằm trong khoảng từ 0,50 đến 1,0 MeV. Các ion được tạo ra bởi nguồn ion được gia tốc trước khi phun vào trong bộ phận gia tốc năng lượng cao nhờ bộ phận gia tốc trước có lưới nhiều khe hở tĩnh điện, bộ phận này được sử dụng để tách các chùm ion từ plasma và gia tốc theo tỷ lệ nào đó của năng lượng chùm được yêu cầu. Chùm từ nguồn ion đi qua cặp nam châm làm lệch, cặp nam châm này cho phép chùm dịch khỏi trục trước khi đi vào bộ phận gia tốc năng lượng cao. Sau khi gia tốc thành năng lượng toàn phần, chùm đi vào bộ phận trung hòa tại đó nó được chuyển đổi một phần thành chùm trung tính. Các loại ion còn lại được chia tách nhờ nam châm và được hướng vào trong các bộ phận chuyển đổi năng lượng điện tĩnh. Chùm trung tính đi qua van cổng và đi vào buồng plasma.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập chung đến máy phun chùm trung tính và, cụ thể hơn, sáng chế đề cập đến máy phun chùm trung tính dựa trên các ion âm.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Cho tới gần đây, tất cả các chùm trung tính được sử dụng trong nghiên cứu dung hợp từ tính, xử lý vật liệu, khắc mòn, khử trùng và các ứng dụng khác đều được tạo thành từ các ion dương. Các ion đồng vị hydro dương được tách và được gia tốc từ plasma phóng điện qua khí nhờ các trường tĩnh điện. Ngay sau mặt phẳng tiếp đất của bộ phận gia tốc, chúng đi vào pin khí, tại đó chúng trải qua cả phản ứng trao đổi điện tích để thu được electron và các phản ứng ion hóa va chạm để mất nó một lần nữa. Vì tiết diện trao đổi điện tích giảm nhanh hơn nhiều với năng lượng tăng lên so với tiết diện ion hóa, nên tỷ lệ trung tính cân bằng trong pin khí dày bắt đầu giảm nhanh ở các năng lượng lớn hơn 60 keV đối với các hạt hydro. Đối với các ứng dụng của chùm trung tính đồng vị hydro yêu cầu các năng lượng cao hơn đáng kể so với năng lượng này, cần tạo ra và gia tốc các ion âm, và sau đó cần chuyển đổi chúng thành các hạt trung tính trong pin khí mỏng, điều này có thể dẫn đến tỷ lệ trung tính khoảng 60% qua khoảng năng lượng rộng lên tới nhiều MeV. Thậm chí có thể thu được các tỷ lệ trung tính cao hơn nếu pin photon hoặc plasma được sử dụng để chuyển đổi các chùm ion âm mang năng lượng thành các hạt trung tính. Trong trường hợp pin photon, năng lượng photon đối với pin này vượt quá ái lực electron của hydro, các tỷ lệ trung tính có thể tới gần 100%. Cần chú ý rằng lần đầu tiên một ý tưởng về ứng dụng các ion âm trong ngành vật lý về bộ phận gia tốc được đưa ra bởi Alvarez cách đây đã hơn 50 năm [1].

Do các chùm trung tính dễ dẫn dòng và gia nhiệt trên các thiết bị dung hợp lớn hơn trong tương lai, cũng như một số ứng dụng cho các thiết bị hiện nay, cần các năng lượng vượt nhiều so với mức có thể tiếp cận được nhờ các ion dương, nên

các chùm trung tính dựa trên ion âm đã được phát triển trong những năm gần đây. Tuy nhiên, các dòng của chùm thu được cho đến nay vẫn nhỏ hơn đáng kể so với dòng của chùm được tạo ra theo cách hoàn toàn thông thường bởi các nguồn ion dương. Nguyên nhân vật lý đối với hiệu suất thấp hơn của các nguồn ion âm liên quan đến dòng của chùm là ái lực electron thấp của hydro, ái lực này chỉ bằng 0,75 eV. Do đó, sẽ khó khăn hơn nhiều khi tạo ra các ion hydro âm so với các bản dương của chúng. Ngoài ra, khá khó khăn cho các ion âm mới được sinh ra để tới vùng tách mà không va chạm với các electron năng lượng, các electron này, với xác suất rất cao, sẽ gây ra tổn thất về electron liên kết cực lỏng. Cũng như vậy, việc tách các ion H^- từ plasma để tạo thành chùm phức tạp hơn nhiều so với các ion H^+ , do các ion âm sẽ được kèm theo bởi dòng electron lớn hơn nhiều trừ khi triển khai các biện pháp ngăn chặn. Do tiết diện để bóc tách va chạm của electron từ ion H^- để tạo ra nguyên tử lớn hơn đáng kể so với tiết diện cho ion H^+ để thu được electron từ phân tử hydro, tỷ lệ của các ion được chuyển đổi thành các hạt trung tính trong khi gia tốc có thể là đáng kể trừ khi mật độ đường khí trong đường dẫn gia tốc được giảm thiểu nhờ vận hành nguồn ion ở áp suất thấp. Các ion được trung hòa sớm trong khi gia tốc sẽ tạo thành đoạn đuôi năng lượng thấp, và thường có độ phân kỳ lớn hơn so với các ion trải qua thể gia tốc đầy đủ.

Sự trung hòa của chùm ion âm được gia tốc có thể được thực hiện trong đích khí với hiệu suất khoảng 60%. Việc sử dụng các đích photon và plasma cho phép gia tăng hơn nữa về hiệu suất trung hòa của các ion âm. Hiệu suất năng lượng chung của máy phun có thể được tăng lên nhờ thu hồi năng lượng của các loại ion còn lại trong chùm sau khi đi qua bộ phận trung hòa.

Sơ đồ của máy phun chùm trung tính công suất cao cho tokamak ITER (tokamak: thiết bị từ trường hình xuyên), nó cũng đặc trưng cho các hệ thống giữ plasma từ tính loại lò phản ứng khác được quan tâm, được thể hiện trên Fig.3 [2]. Các thành phần cơ bản của máy phun là nguồn dòng lớn của các ion âm, bộ phận gia tốc ion, bộ phận trung hòa, và bộ phận chia tách từ của thành phần tích điện của chùm được trao đổi điện tích với các bộ phận gom-các bộ phận thu hồi ion.

Để giữ được các điều kiện chân không được yêu cầu trong máy phun, hệ thống bơm chân không cao thường được sử dụng với các van cổng kích thước lớn cắt ống dẫn chùm từ thiết bị plasma và/hoặc tạo ra sự tiếp cận đối với các chi tiết chính của máy phun. Các thông số của chùm được đo bằng cách sử dụng các đích đo nhiệt lượng có thể co lại được, cũng như nhờ các phương pháp quang học không xâm nhập. Việc tạo ra các chùm trung tính mạnh yêu cầu sử dụng bộ cấp nguồn tương ứng.

Theo nguyên tắc sản xuất, các nguồn của các ion âm có thể được phân chia thành các nhóm sau:

- các nguồn (plasma) theo thể tích – trong đó các ion được tạo ra theo thể tích của plasma;
- các nguồn sản xuất bề mặt – trong đó các ion được tạo ra trên bề mặt của các điện cực hoặc các đích đặc biệt;
- các nguồn plasma-bề mặt – trong đó các ion được tạo ra trên các bề mặt của các điện cực tương tác với các hạt plasma, chúng được phát triển bởi nhóm Novosibirsk [3]; và
- các nguồn trao đổi điện tích – trong đó các ion âm được tạo ra nhờ sự trao đổi điện tích của các chùm ion dương được gia tốc trên các đích khác nhau.

Để tạo ra plasma trong các nguồn ion H^- thể tích hiện đại tương tự như plasma trong nguồn ion dương, sự phóng điện hồ quang với các sợi đốt nóng hoặc các catốt rỗng được sử dụng, cũng như sự phóng điện RF trong hydro. Để cải thiện việc giữ electron trong khi phóng điện và để giảm mật độ hydro trong buồng phóng điện qua khí, điều này quan trọng đối với các nguồn ion âm, sự phóng điện trong từ trường được sử dụng. Các hệ thống với từ trường ngoài (nghĩa là, với dạng hình học Penning hoặc manhêtron của các điện cực, với dao động electron trong từ trường theo chiều dọc của sự phóng điện "phản xạ"), và các hệ thống với từ trường ngoài vi (đa cực) được sử dụng rộng rãi. Hình vẽ mặt cắt rời của buồng phóng điện với từ trường ngoài vi được phát triển cho máy phun chùm trung tính của JET được thể

hiện trên Fig.4 [3]. Từ trường ở ngoại vi của hộp plasma được tạo ra bởi các nam châm vĩnh cửu được lắp đặt trên bề mặt ngoài của nó. Các nam châm được bố trí thành các hàng trong đó hướng từ hóa là không đổi hoặc thay đổi theo thứ tự bậc, sao cho các đường từ trường có dạng hình học là các đỉnh bàn cờ hoặc tuyến tính ở gần thành.

Việc ứng dụng các hệ thống với từ trường đa cực ở ngoại vi của các buồng plasma nói riêng, cho phép các hệ thống duy trì plasma dày đặc trong nguồn ở áp suất vận hành khí giảm trong buồng xuống khoảng từ 1 đến 4 Pa (không có xeri (cesium)) và xuống 0,3 Pa – trong các hệ thống có xeri [4]. Việc giảm mật độ hydro trong buồng phóng điện này đặc biệt quan trọng đối với các nguồn ion không lò dòng cao có nhiều khe hở, các nguồn này được phát triển cho các ứng dụng trong nghiên cứu dung hợp.

Tại thời điểm này, các nguồn ion sản xuất plasma bề mặt được coi là thích hợp nhất để tạo ra chùm ion âm dòng lớn.

Trong các nguồn ion sản xuất plasma bề mặt, các ion được tạo ra với sự tương tác giữa các hạt có đủ năng lượng và bề mặt hàm công thấp. Hiệu quả này có thể được tăng cường nhờ phủ kiềm cho bề mặt được lộ ra với quá trình bắn phá. Có hai quy trình chính, cụ thể là quy trình ion hóa bề mặt bằng nhiệt động, trong đó nguyên tử hoặc phân tử chậm va lên bề mặt được phát lại như ion dương hoặc âm sau thời gian ổn định trung bình, và quy trình tương tác bề mặt nguyên tử không bằng nhiệt động (về động lực), trong đó các ion âm được tạo ra nhờ phóng ra, giải hấp và chạm (ngược lại với giải hấp nhiệt trong đó các hạt mang nhiệt được giải hấp) hoặc phản xạ với sự có mặt của lớp phủ kim loại kiềm. Trong quy trình ion hóa bằng nhiệt động các hạt được hấp phụ thoát ra khỏi bề mặt trong các điều kiện bằng nhiệt. Hệ số ion hóa của các hạt rời khỏi bề mặt được xác định bởi công thức Saha và có vẻ rất nhỏ $\sim 0,02\%$.

Quy trình ion hóa bề mặt về động lực không bằng nhiệt có vẻ có hiệu quả hơn nhiều trên bề mặt và có hàm công đủ thấp để có thể so với ái lực electron của ion âm. Trong quy trình này, ion âm thoát ra khỏi bề mặt vượt qua được rào cản gần

bề mặt bằng cách sử dụng động năng thu được từ hạt sơ cấp. Ở gần bề mặt, mức năng lượng của electron bổ sung thấp hơn so với mức Fermi trên của các electron trong kim loại và mức này có thể bị chiếm giữ một cách rất dễ dàng bởi hiệu ứng đường hầm electron từ kim loại. Trong khi ion di chuyển khỏi bề mặt nó vượt qua rào thế năng được tạo ra bởi sự phóng điện ảnh $U_{image} = -\frac{e^2}{4x}$. Trường ảnh phóng điện nâng cao mức năng lượng của electron bổ sung so với các mức năng lượng của các electron trong kim loại. Bắt đầu từ khoảng cách tới hạn nào đó, mức của electron bổ sung trở nên cao hơn so với mức năng lượng trên của các electron trong kim loại, và hiệu ứng đường hầm cộng hưởng trả electron từ ion rời trở lại với kim loại. Trong trường hợp hạt thoát ra đủ nhanh, thì hệ số ion âm hóa có vẻ khá cao đối với bề mặt có hàm công thấp mà có thể được tạo ra nhờ phủ kim loại kiềm, đặc biệt là xeri.

Thông qua thử nghiệm, mức độ ion âm hóa của các hạt hydro thoát ra khỏi bề mặt với hàm công thấp được thể hiện là có thể đạt $\beta^- = \frac{j^-}{j^- + j^0 + j^+} = 0,67$. Cần chú ý rằng hàm công trên các bề mặt vonfram có trị số tối thiểu với vùng tác dụng Cs 0,6 lớp đơn (trên bề mặt tinh thể vonfram 110).

Để phát triển các nguồn ion hydro âm, điều quan trọng là toàn bộ hiệu suất của các ion âm đủ cao, $K^- = 9-25\%$, cho các va chạm của các nguyên tử hydro và các ion dương với năng lượng nằm trong khoảng từ 3 đến 25 eV với các bề mặt có hàm công thấp, như Mo+Cs, W+Cs [5]. Cụ thể, (xem Fig.5) trong khi bắn phá bề mặt bề mặt molypden được xeri hóa (cesiated) bởi các nguyên tử Frank-Condon với năng lượng lớn hơn 2eV, hiệu suất chuyển đổi toàn bộ thành các ion H^- có thể đạt $K \sim 8\%$.

Trong các nguồn plasma-bề mặt (surface-plasma source - SPS) [3], việc sản xuất ion âm được thực hiện nhờ ion hóa bề mặt về động lực – các quy trình phóng ra, giải hấp hoặc phản xạ trên các điện cực tiếp xúc với plasma phóng điện qua khí. Các điện cực của các bộ phát đặc biệt với hàm công thấp được sử dụng trong các SPS để cải thiện việc sản xuất ion âm. Thông thường, việc bổ sung lượng nhỏ xeri

vào phần phóng điện cho phép đạt được sự tăng lên đa dạng về độ sáng và cường độ của các chùm H⁻. Việc tạo mầm xeri trong phần phóng điện làm giảm đáng kể thông lượng electron kèm theo mà được tách ra với các ion âm.

Trong SPS, plasma phóng điện qua khí có một số chức năng, cụ thể là nó tạo ra các thông lượng mạnh của các hạt bắn phá các điện cực; vỏ bọc plasma liên kết với điện cực tạo ra sự gia tốc ion, nhờ đó gia tăng năng lượng của các hạt bắn phá; các ion âm, các ion này được tạo ra ở các điện cực dưới điện thế âm, được gia tốc bởi điện thế vỏ bọc plasma và đi qua lớp plasma vào trong vùng tách mà không làm phá hủy đáng kể. Việc tạo ra ion âm mạnh với các hiệu suất khí và công suất khá cao đạt được theo các phương án biến đổi khác nhau của SPS dưới các điều kiện phóng điện qua khí “bắn” và sự bắn phá mạnh của các điện cực.

Một số nguồn SPS đã được phát triển cho các thiết bị dung hợp lớn hơn như LHD, JT-60U và tokamak quốc tế (ITER).

Các dấu hiệu đặc trưng của các nguồn này có thể được hiểu rõ khi xem xét máy phun của stellarator LHD [4], nó được thể hiện trên Fig.6 [4, 6]. Plasma hồ quang được tạo ra trong buồng có rào thùng đa cực từ lớn với thể tích ~100 lít. Hai mươi bốn sợi đốt vonfram hỗ trợ hồ quang 3 kA, ~80 V dưới áp suất hydro nằm trong khoảng từ 0,3 đến 0,4 Pa. Bộ phận lọc nam châm ngoài với trường tối đa ở tâm là ~50 G tạo ra việc giảm nhiệt độ và mật độ electron trong vùng tách nằm gần điện cực plasma. Sự phân cực dương (positive bias) của điện cực plasma (~ 10 V) làm giảm thông lượng electron kèm theo. Các ion âm được tạo ra trên điện cực plasma được phủ bởi lớp xeri tối ưu. Các lò xeri bên ngoài (ba lò cho một nguồn) được trang bị với các van khí nén cung cấp phần tạo mầm xeri phân tán. Quá trình tạo ra ion âm đạt tối đa ở nhiệt độ điện cực plasma tối ưu nằm trong khoảng từ 200 đến 250° C. Điện cực plasma được cách nhiệt và nhiệt độ của nó được xác định bởi phần điện tích plasma có các tải công suất.

Hệ thống quang học ion nhiều khe hở có bốn điện cực, hệ thống này được sử dụng trong nguồn ion LHD, được thể hiện trên Fig.7 [6]. Các ion âm được tách thông qua 770 khe hở phát với đường kính của mỗi khe hở là 1,4 cm. Các khe hở

chiếm diện tích $25 \times 125 \text{ cm}^2$ trên điện cực plasma. Các nam châm vĩnh cửu nhỏ được gắn vào trong lưới tách giữa các khe hở để làm lệch các electron được tách đồng thời (co-extracted electron) khỏi chùm lên trên thành điện cực tách. Lưới chặn electron bổ sung, được lắp phía sau lưới tách để chặn các electron thứ cấp, được tán xạ ngược hoặc được phát ra từ các thành điện cực được tách. Lưới nối đất nhiều rãnh cắt với độ trong suốt cao được sử dụng trong nguồn ion. Nó giảm diện tích giao nhau của chùm nhờ đó cải thiện khả năng giữ điện áp và giảm áp suất khí trong các khe theo hệ số 2,5 cùng với việc giảm tương ứng đối với các tổn thất bóc tách chùm. Cả điện cực tách và điện cực nối đất đều được làm mát nhờ nước.

Việc tạo mầm xeri trong nguồn nhiều đỉnh tạo ra sự gia tăng gấp 5 của dòng ion âm được tách và sự phát triển tuyến tính của hiệu suất các ion H^- trong khoảng công suất phóng điện và áp suất điện đầy hydro rộng. Các ưu điểm quan trọng khác của việc tạo mầm xeri là giảm ~ 10 lần đối với dòng electron được tách đồng thời và giảm chủ yếu áp suất hydro trong phần phóng điện xuống thành 0,3 Pa.

Thông thường, các nguồn nhiều đỉnh ở LHD đưa ra dòng ion khoảng 30 A, mỗi nguồn với mật độ dòng là 30 mA/cm^2 trong các xung dài 2 giây [6]. Các vấn đề chính đối với các nguồn ion LHD là phần chặn của xeri, phần này được tạo mầm đối với buồng hồ quang, nhờ vonfram được phóng ra từ các sợi đốt và việc giảm khả năng giữ điện áp cao khi được vận hành trong chế độ xung dài với công suất lớn.

Máy phun chùm trung tính dựa trên ion âm của LHD có hai nguồn ion được vận hành với hydro ở năng lượng chùm danh định 180keV. Mọi máy phun đã đạt được công suất phun danh định 5 MW trong xung 128 giây, sao cho mỗi nguồn ion tạo ra chùm trung tính 2,5 MW. Fig.8A và Fig.8B thể hiện máy phun chùm trung tính LHD. Tiêu cự của nguồn ion là 13m, và điểm xoay của hai nguồn được đặt sau 15,4m. Cổng phun dài khoảng 3m với phần hẹp nhất có đường kính là 52cm và chiều dài là 68cm.

Các nguồn ion với các bộ phận dẫn plasma (plasma driver) RF và việc tạo ra ion âm trên điện cực plasma được phủ bởi xeri được phát triển ở IPP Garching. Các

bộ phận dẫn RF tạo ra plasma sạch hơn, sao cho không xảy ra chặn xeri bởi vonfram trong các nguồn này. Việc tách ở trạng thái ổn định của xung chùm ion âm với dòng của chùm 1 A, năng lượng ~ 20 kV và khoảng thời gian 3600 giây được chứng minh bởi IPP vào năm 2011.

Hiện nay, các máy phun chùm trung tính năng lượng cao, các máy này được phát triển cho các thiết bị dung hợp ở giai đoạn tiếp theo, ví dụ như, tokomak ITER, đã không chứng minh được hoạt động ổn định ở năng lượng 1MeV mong muốn và trạng thái ổn định hoặc hoạt động sóng liên tục (continuous wave - CW) với dòng đủ lớn. Do đó, có nhu cầu phát triển các giải pháp khả thi vào bất cứ lúc nào có thể để giải quyết các vấn đề ngăn việc đạt được các thông số mục tiêu của chùm, ví dụ như, năng lượng chùm nằm trong khoảng từ 500 đến 1000 KeV, mật độ dòng hiệu dụng trong các hạt trung tính của cổng bể chính nằm trong khoảng từ 100 đến 200 A/m³, công suất cho mỗi máy phun chùm trung tính nằm trong khoảng từ 5 đến 20 MW độ dài xung 1000 giây, và các tải khí được đưa vào bởi máy phun chùm nhỏ hơn khoảng từ 1 đến 2% dòng của chùm. Cần chú ý rằng việc đạt được mục tiêu này trở nên ít khó khăn hơn nhiều nếu dòng ion âm trong môđun của máy phun được giảm xuống thành dòng ion tách nằm trong khoảng từ 8 đến 10A so với dòng ion tách 40A cho chùm ITER. Việc giảm xuống đối với dòng được tách và công suất chùm sẽ dẫn đến việc thay đổi lớn về thiết kế của các chi tiết chính của máy phun nguồn ion và bộ phận gia tốc năng lượng cao, dẫn đến rất nhiều phương án và công nghệ được phát triển tốt trở nên áp dụng được để cải thiện độ tin cậy của máy phun. Do đó, mỗi quan tâm hiện nay đề xuất dòng được tách nằm trong khoảng từ 8 đến 10 A cho mỗi môđun, với giả thiết là có thể đạt được công suất phun đầu ra yêu cầu bằng cách sử dụng một số môđun máy phun tạo ra mật độ dòng lớn, các chùm phân kỳ thấp.

Hiệu suất nguồn plasma bề mặt được ghi lại thành văn bản khá kỹ và một số nguồn ion hiện nay, khi vận hành, đã tạo ra được các chùm ion có thể mở rộng liên tục vượt quá 1 A hoặc cao hơn nữa. Cho đến nay, các thông số chính của các máy phun chùm trung tính, như công suất chùm và khoảng thời gian xung, cách khá xa

với các thông số được yêu cầu cho máy phun được quan tâm. Tình trạng phát triển hiện nay của các máy phun này có thể được hiểu rõ thông qua Bảng 1.

Bảng 1.

	TAE	ITER	JT-60U	LHD	IPP	CEA-JAERI
mật độ dòng (A/m ²)		200 D ⁻ 280 H ⁻	100 D ⁻	350 H ⁻	230 D ⁻ 330 H ⁻	216 D ⁻ 195 H ⁻
Năng lượng chùm (keV)	1000 H ⁻	1000 D ⁻ 100 H ⁻	365	186	9	25
Độ dài xung (giây)	≥1000	3600 D ⁻ 3 H ⁻	19	10	<6	5 1000
Tỷ lệ electron so với ion		1	~ 0,25	<1	<1	<1
áp suất (Pa)	0,3	0,3	0,26	0,3	0,3	0,35
Chú thích		Các số lượng kết hợp chưa đạt được, các thử nghiệm đang tiến hành ở IPP Garching – nguồn xung dài MANITU hiện tại phân phối 1A/20kV trong thời gian lên tới 3600 giây với D ⁻	Nguồn sợi đốt	Nguồn sợi đốt	Nguồn RF, không tách hoàn toàn, nên thử nghiệm được biết đến là BATMAN vận hành ở 2 A/20kV trong ~6 giây	Nguồn KamabokoIII (JAERI) trên MANTIS (CEA)

Do đó, mong muốn tạo ra được máy phun chùm trung tính cải tiến.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Các phương án được đề xuất trong bản mô tả này đề cập đến các hệ thống và phương pháp sử dụng cho máy phun chùm trung tính dựa trên ion âm (negative ion-based neutral beam injector). Máy phun chùm trung tính dựa trên ion âm này bao gồm nguồn ion, bộ phận gia tốc (accelerator) và bộ phận trung hòa (neutralizer) để

tạo ra chùm trung tính khoảng 5 MW có năng lượng nằm trong khoảng từ 0,50 đến 1,0 MeV. Nguồn ion được đặt bên trong thùng chân không và tạo ra chùm ion âm 9 A. Các ion được tạo ra bởi nguồn ion được gia tốc trước thành 120 keV trước khi phun vào trong bộ phận gia tốc năng lượng cao nhờ bộ phận gia tốc trước có lưới nhiều khe hở tĩnh điện (electrostatic multi aperture grid pre-accelerator) trong nguồn ion, bộ phận này được sử dụng để tách các chùm ion từ plasma và gia tốc theo tỷ lệ nào đó của năng lượng chùm được yêu cầu. Chùm 120 keV từ nguồn ion đi qua cặp nam châm làm lệch, cặp nam châm này cho phép chùm dịch khỏi trục trước khi đi vào bộ phận gia tốc năng lượng cao. Sau khi gia tốc thành năng lượng toàn phần, chùm đi vào bộ phận trung hòa tại đó nó được chuyển đổi một phần thành chùm trung tính. Các loại ion còn lại được chia tách nhờ nam châm và được hướng vào trong các bộ phận chuyển đổi năng lượng điện tĩnh. Chùm trung tính đi qua van cổng và đi vào buồng plasma.

Các bộ phận dẫn plasma và các thành trong của hộp plasma của nguồn ion được duy trì ở nhiệt độ cao (nằm trong khoảng từ 150 đến 200° C) để ngăn tích tụ xeri trên các bề mặt của chúng. Ống góp phân phối (distributing manifold) được bố trí để cung cấp xeri một cách trực tiếp lên trên bề mặt của các lưới plasma và không cho plasma. Điều này ngược lại với các nguồn ion hiện có, các nguồn này cung cấp xeri một cách trực tiếp vào trong buồng phóng điện plasma.

Từ trường được sử dụng để làm lệch các electron được tách đồng thời trong các vùng tách ion và gia tốc trước (ion extraction and pre-acceleration region) được tạo ra bởi các nam châm bên ngoài, không phải bởi các nam châm được gắn vào trong thân lưới, như được chấp thuận trong các thiết kế trước đây. Việc không có các nam châm “nhiệt độ thấp” được gắn trong các lưới cho phép chúng được gia nhiệt lên tới các nhiệt độ cao. Các thiết kế trước đây có xu hướng sử dụng các nam châm được gắn vào trong thân lưới, điều này có xu hướng làm giảm đáng kể dòng của chùm được tách và ngăn hoạt động ở nhiệt độ cao cũng như việc thực hiện gia nhiệt/làm nguội thích hợp.

Bộ phận gia tốc điện áp cao không được ghép trực tiếp vào nguồn ion, mà được đặt cách ra khỏi nguồn ion bởi vùng chuyển tiếp (đường vận chuyển chùm năng lượng thấp (low energy beam transport line – LEBT)) với các nam châm cong, các bơm chân không và các bẫy xeri (cesium trap). Vùng chuyển tiếp chắn và loại bỏ hầu hết các hạt cùng tạo dòng bao gồm các electron, photon và các hạt trung tính khỏi chùm, bơm ra khí, khí này phát ra từ nguồn ion và ngăn nó tới bộ phận gia tốc điện áp cao, ngăn xeri khỏi chảy ra khỏi nguồn ion và xuyên vào bộ phận gia tốc điện áp cao, ngăn các electron và các hạt trung tính, được tạo ra nhờ bóc tách các ion âm, khỏi đi vào bộ phận gia tốc điện áp cao. Trong các thiết kế trước đây, nguồn ion được kết nối trực tiếp vào bộ phận gia tốc điện áp cao, nó có xu hướng làm cho bộ phận gia tốc điện áp cao chịu tất cả các dòng khí, hạt tích điện, và xeri từ nguồn ion và theo hướng ngược lại.

Các nam châm cong trong LEBT làm lệch và hội tụ chùm lên trên trục của bộ phận gia tốc và, theo đó bù sự lệch và dịch chùm bất kỳ trong khi vận chuyển thông qua từ trường của nguồn ion. Sự dịch giữa các trục của bộ phận gia tốc trước và bộ phận gia tốc điện áp cao làm giảm dòng vào của các hạt cùng tạo dòng tới bộ phận gia tốc điện áp cao và ngăn các hạt được gia tốc cao (các ion dương và các hạt trung tính) khỏi tạo dòng ngược vào trong bộ phận gia tốc trước và nguồn ion. Việc hội tụ chùm còn tạo thuận lợi cho tính đồng nhất của chùm đang đi vào bộ phận gia tốc so với các hệ thống lưới nhiều khe hở.

Bộ phận trung hòa bao gồm bộ phận trung hòa plasma và bộ phận trung hòa photon. Bộ phận trung hòa plasma dựa trên hệ thống giữ plasma nhiều đỉnh với các nam châm vĩnh cửu trường lớn ở các thành. Bộ phận trung hòa photon là bẫy photon dựa trên hốc hình trụ với các thành phản xạ cao và bơm với các máy laze hiệu suất cao. Các công nghệ về bộ phận trung hòa chưa bao giờ được xem xét cho các ứng dụng trong các máy phun chùm trung tính quy mô lớn.

Các hệ thống, phương pháp, dấu hiệu và ưu điểm khác của các phương án làm ví dụ sẽ rõ ràng hoặc sẽ trở nên rõ ràng đối với người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực khi nghiên cứu các hình vẽ sau và phần mô tả chi tiết sáng chế.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Chi tiết về các phương án làm ví dụ, bao gồm kết cấu và hoạt động, có thể được thu nhận một phần nhờ nghiên cứu các hình vẽ kèm theo, trong đó các số chỉ dẫn giống nhau chỉ các phần giống nhau. Các thành phần trên các hình vẽ không nhất thiết được vẽ theo tỷ lệ, thay vào đó sự nhấn mạnh được đưa ra khi minh họa các dấu hiệu cơ bản của sáng chế. Ngoài ra, tất cả các minh họa đều nhằm chuyển tải các khái niệm, trong đó các kích thước tương đối, các hình dạng và các thuộc tính chi tiết khác có thể được minh họa dưới dạng giản đồ hơn là được minh họa nguyên văn hoặc theo cách chính xác.

Fig.1 là hình chiếu bằng của bố trí máy phun chùm trung tính dựa trên ion âm.

Fig.2 là hình chiếu mặt cắt cùng kích thước của máy phun chùm trung tính dựa trên ion âm được thể hiện trên Fig.1.

Fig.3 là hình chiếu bằng của máy phun công suất cao của các hạt trung tính cho tokomak ITER.

Fig.4 là hình chiếu cắt rời cùng kích thước của buồng phóng điện có từ trường đa cực ngoại vi cho máy phun chùm trung tính JET.

Fig.5 là biểu đồ thể hiện toàn bộ hiệu suất của các ion âm được tạo thành nhờ bắn phá bề mặt Mo+Cs bằng các nguyên tử H trung tính và phân tử dương H như hàm của năng lượng tới. Hiệu suất được tăng lên nhờ sử dụng xeri hóa (cesiation) DC so với chỉ tiền xeri hóa (precesiating) bề mặt.

Fig.6 là hình chiếu bằng của nguồn ion âm cho LHD.

Fig.7 là sơ đồ của hệ thống quang học ion nhiều khe hở cho nguồn LHD.

Fig.8A và Fig.8B là các hình chiếu từ trên xuống và hình chiếu cạnh của máy phun chùm trung tính LHD.

Fig.9 là hình chiếu mặt cắt của nguồn ion.

Fig.10 là hình chiếu mặt cắt của nguồn nguyên tử hydro năng lượng thấp.

Fig.11 là đồ thị thể hiện các quỹ đạo của các ion H^+ trong đường năng lượng thấp.

Fig.12 là hình chiếu cùng kích thước của bộ phận gia tốc.

Fig.13 là đồ thị thể hiện các quỹ đạo ion trong ống gia tốc.

Fig.14 là hình chiếu cùng kích thước của bộ ba thấu kính tứ cực.

Fig.15 là đồ thị thể hiện hình chiếu từ phía trên (a) và hình chiếu cạnh (b) của các quỹ đạo ion trong bộ phận gia tốc của đường vận chuyển chùm năng lượng cao.

Fig.16 là hình chiếu cùng kích thước của bố trí đích plasma.

Fig.17 là đồ thị thể hiện các kết quả tính toán hai chiều về sự giảm tốc chùm ion trong bộ phận thu hồi.

Cần chú ý rằng các chi tiết có kết cấu hoặc chức năng tương tự thường được biểu diễn bởi các số chỉ dẫn giống nhau nhằm mục đích minh họa trong toàn bộ hình vẽ. Cũng cần chú ý rằng các hình vẽ chỉ nhằm tạo thuận lợi cho việc mô tả các phương án ưu tiên.

Mô tả chi tiết sáng chế

Mỗi trong số các dấu hiệu và hướng dẫn bổ sung được bộc lộ sau đây có thể được sử dụng riêng rẽ hoặc chung với các dấu hiệu và hướng dẫn khác để tạo ra máy phun chùm trung tính dựa trên ion âm mới. Các ví dụ tiêu biểu về các phương án được mô tả ở đây, các ví dụ này sử dụng nhiều trong số các dấu hiệu và hướng dẫn này theo cách riêng rẽ và cả theo cách kết hợp, sẽ được mô tả chi tiết hơn có dựa vào các hình vẽ kèm theo. Phần mô tả chi tiết này chỉ nhằm hướng dẫn người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực về các chi tiết khác để thực hiện các khía cạnh được ưu tiên của sáng chế và không nhằm giới hạn phạm vi bảo hộ của sáng chế. Do đó, việc kết hợp của các dấu hiệu và các bước được bộc lộ trong phần mô tả chi tiết sau có thể không nhất thiết nhằm thực hiện sáng chế theo nghĩa rộng nhất, và

thay vào đó việc kết hợp này được hướng dẫn chỉ nhằm mô tả cụ thể các ví dụ tiêu biểu về sáng chế.

Ngoài ra, các dấu hiệu khác nhau của các ví dụ tiêu biểu và các điểm yêu cầu bảo hộ phụ thuộc có thể được kết hợp theo các cách thức mà không được đánh số cụ thể và rõ ràng để đề xuất các phương án hữu ích bổ sung của sáng chế. Ngoài ra, cần chú ý một cách rõ ràng rằng tất cả các dấu hiệu được bộc lộ trong bản mô tả và/hoặc các điểm yêu cầu bảo hộ được dự tính để được bộc lộ theo cách riêng rẽ và độc lập với nhau nhằm mục đích bộc lộ ban đầu, cũng như nhằm mục đích giới hạn đối tượng được yêu cầu bảo hộ không phụ thuộc vào các thành phần của các dấu hiệu trong các phương án và/hoặc các điểm yêu cầu bảo hộ. Cũng cần chú ý một cách rõ ràng rằng tất cả các khoảng trị số hoặc các chỉ thị về các nhóm thực thể bộc lộ mọi trị số trung gian hoặc thực thể trung gian có thể nhằm mục đích bộc lộ ban đầu, cũng như nhằm mục đích giới hạn đối tượng được yêu cầu bảo hộ.

Các phương án được đề xuất ở đây đề cập đến máy phun chùm trung tính dựa trên ion âm mới với năng lượng tốt hơn nếu nằm trong khoảng từ 500 đến 1000 keV và hiệu suất năng lượng chung cao. Bố trí ưu tiên của máy phun chùm trung tính dựa trên ion âm 100 theo một phương án được minh họa trên Fig.1 và Fig.2. Như được mô tả, máy phun 100 bao gồm nguồn ion 110, van cổng 120, các nam châm làm lệch 130 để làm lệch đường chùm năng lượng thấp, phần đỡ bộ cách điện 140, bộ phận gia tốc năng lượng cao 150, van cổng 160, ống bộ phận trung hòa (được thể hiện giản lược) 170, nam châm chia tách (được thể hiện giản lược) 180, van cổng 190, các tấm bơm 200 và 202, thùng chân không 210 (thùng này là một phần của bể chân không 250 được đề cập sau đây), các bơm hấp phụ 220, và bộ ba thấu kính tứ cực 230. Máy phun 100, như được lưu ý, bao gồm nguồn ion 110, bộ phận gia tốc 150 và bộ phận trung hòa 170 để tạo ra chùm trung tính khoảng 5 MW có năng lượng nằm trong khoảng từ 0,50 đến 1,0 MeV. Nguồn ion 110 được đặt bên trong thùng chân không 210 và tạo ra chùm ion âm 9 A. Thùng chân không 210 được phân cực thành -880 kV mà cân xứng với mặt đất và được lắp lên trên các phần đỡ cách điện 140 bên trong thùng có đường kính lớn hơn 240 được đổ đầy bởi khí SF₆. Các ion được tạo ra bởi nguồn ion được gia tốc trước thành 120 keV trước

khi phun vào trong bộ phận gia tốc năng lượng cao 150 bởi bộ phận gia tốc trước có lưới nhiều khe hở tĩnh điện 111 (xem Fig.9) trong nguồn ion 110, nó được sử dụng để tách các chùm ion từ plasma và gia tốc theo tỷ lệ nào đó của năng lượng chùm được yêu cầu. Chùm 120 keV từ nguồn ion 110 đi qua cặp nam châm làm lệch 130, cặp nam châm này cho phép chùm dịch khỏi trục trước khi đi vào bộ phận gia tốc năng lượng cao 150. Các tấm bơm 202 được thể hiện giữa các nam châm làm lệch 130 bao gồm bẫy xeri và phân khu.

Hiệu suất khí của nguồn ion 110 được giả sử là khoảng 30%. Dòng chùm ion âm được phóng ra nằm trong khoảng 9 đến 10 A tương ứng với luồng khí nằm khoảng từ 6 đến 7 l·Torr/s trong nguồn ion 110. Khí trung tính chảy từ nguồn ion 110 tích tụ tới áp suất trung bình trong bộ phận gia tốc trước 111 khoảng 2×10^{-4} Torr. Ở áp suất này, khí trung tính gây ra tổn thất về loại $\sim 10\%$ chùm ion bên trong bộ phận gia tốc trước 111. Giữa các nam châm làm lệch 130 có các các kết xuất (không được thể hiện trên hình vẽ) cho các hạt trung tính, chúng xuất hiện từ chùm ion âm sơ cấp. Cũng có các các kết xuất (không được thể hiện trên hình vẽ) cho các ion dương tạo dòng ngược từ bộ phận gia tốc năng lượng cao 150. Vùng của đường vận chuyển chùm năng lượng thấp 205 với bơm vì sai từ các tấm bơm 200 được sử dụng ngay sau khi gia tốc trước để giảm áp suất khí xuống $\sim 10^{-6}$ Torr trước khi nó tới bộ phận gia tốc năng lượng cao 150. Điều này đưa vào tổn thất chùm bổ sung $\sim 5\%$, nhưng do nó xảy ra ở năng lượng gia tốc trước thấp nên tổn thất công suất là tương đối nhỏ. Các tổn thất về trao đổi điện tích trong bộ phận gia tốc năng lượng cao 150 dưới 1% ở áp suất nền 10^{-6} Torr.

Sau khi gia tốc thành năng lượng toàn phần 1 MeV chùm đi vào bộ phận trung hòa 170 tại đó nó được chuyển đổi một phần thành chùm trung tính. Các loại ion còn lại được chia tách nhờ nam châm 180 và được hướng vào trong các bộ phận chuyển đổi năng lượng điện tĩnh (không được thể hiện trên hình vẽ). Chùm trung tính đi qua van cổng 190 và đi vào buồng plasma 270.

Bể chân không 250 được chia thành hai phần. Một phần chứa bộ phận gia tốc trước 111 và đường chùm năng lượng thấp 205 trong thùng chân không thứ nhất

210. Phần kia chứa đường chùm năng lượng cao 265, bộ phận trung hòa 170 và các bộ phận chuyển đổi năng lượng/các bộ phận thu hồi các hạt tích điện trong thùng chân không thứ hai 255. Các phần của bể chân không 250 được kết nối thông qua buồng 260 với ống bộ phận gia tốc năng lượng cao 150 ở bên trong.

Thùng chân không thứ nhất 210 là biên chân không của bộ phận gia tốc trước 111 và đường chùm năng lượng thấp 205 và thùng có đường kính lớn hơn hoặc bề ngoài 240 được tăng áp bởi khí SF_6 để cách điện áp cao. Các thùng chân không 210 và 255 hoạt động như kết cấu đỡ cho thiết bị bên trong, như các nam châm 130, các bơm hấp phụ 220, v.v.. Việc thải nhiệt từ các thành phần tải nhiệt bên trong được thực hiện bởi các ống làm mát, các ống này phải có các phần ngắt cách điện trong trường hợp thùng chân không thứ nhất 210, thùng này được phân cực thành -880kV.

NGUỒN ION:

Sơ đồ của nguồn ion 110 được thể hiện trên Fig.9. Nguồn ion bao gồm: các lưới gia tốc trước có nhiều khe hở tĩnh điện 111, các bộ cách điện gồm 112, các bộ phận dẫn plasma loại RF 113, các nam châm vĩnh cửu 114, hộp plasma 115, các ống góp và các kênh dẫn nước làm mát 116, và các van khí 117. Trong nguồn ion 110, bề mặt molypden được xer hóa của các lưới gia tốc trước plasma 111 được sử dụng để chuyển đổi các ion dương và các nguyên tử trung tính được tạo thành bởi các bộ phận dẫn plasma 113 thành các ion âm trong thể tích giãn nở plasma (thể tích giữa các bộ phận dẫn 113 và các lưới 111, được biểu thị bởi dấu ngoặc ghi “PE” trên Fig.9) với đồ chứa dạng gàu-đa cực-từ như được tạo ra bởi các nam châm vĩnh cửu 114.

Điện áp phân cực dương để gom các electron vào các lưới gia tốc trước plasma 111 được áp dụng với các điều kiện tối ưu để tạo ra ion âm. Việc tạo rạng hình học cho các khe hở 111B trong các lưới gia tốc trước plasma 111 được sử dụng để hội tụ các ion H^- vào trong các khe hở 111B của lưới tách. Bộ phận lọc từ ngang nhỏ được tạo ra bởi các nam châm vĩnh cửu bên ngoài 114 được sử dụng để giảm nhiệt độ của các electron được truyền từ vùng bộ phận dẫn hoặc vùng bộ phận phát plasma PE của hộp plasma 115 tới vùng tách ER của hộp plasma 115. Các electron

trong plasma được phản xạ lại từ vùng tách ER bởi trường bộ phận lọc từ ngang nhỏ được tạo ra bởi các nam châm vĩnh cửu bên ngoài 114. Các ion được gia tốc thành 120 keV trước khi phun vào trong bộ phận gia tốc năng lượng cao 150 bởi các lưới plasma gia tốc trước có nhiều khe hở tĩnh điện 111 trong nguồn ion 110. Trước khi gia tốc thành năng lượng cao, chùm ion có đường kính khoảng 35 cm. Theo đó, nguồn ion 110 phải tạo ra 26 mA/cm² trong các khe hở 111B giả sử độ trong suốt là 33% trong các lưới plasma gia tốc trước 111.

Plasma, plasma này cấp cho hộp plasma 115, được tạo ra bởi mảng gồm các bộ phận dẫn plasma 113 được lắp trên mép sau 115A của hộp plasma, tốt hơn nếu là buồng hình trụ bằng đồng được làm mát nhờ nước (đường kính 700 mm với chiều dài 170 mm). Đầu hở của hộp plasma 115 được bọc bởi các lưới plasma gia tốc trước 111 của hệ thống tách và gia tốc.

Giả sử các ion âm cần được tạo ra trên bề mặt của các lưới plasma 111, chúng được phủ bởi lớp xeri mỏng. Xeri được đưa vào trong hộp plasma 115 nhờ sử dụng hệ thống cấp xeri (không được thể hiện trên Fig.9).

Nguồn ion 110 được bao quanh bởi các nam châm vĩnh cửu 114 để tạo thành kết cấu đỉnh đường để giữ plasma và electron sơ cấp. Các cột nam châm 114A trên thành hình trụ của hộp plasma 115 được kết nối ở mép sau 115A bởi các hàng nam châm 114B, các hàng này cũng có kết cấu đỉnh đường. Bộ phận lọc từ tính nằm gần mặt phẳng của các lưới plasma 111 phân chia hộp plasma 115 thành bộ phận phát plasma PE và vùng tách ER. Các nam châm bộ phận lọc 114C được lắp ở mép 111A cạnh các lưới plasma 111 để tạo ra từ trường ngang ($B=107$ G ở tâm), nó đóng vai trò ngăn các electron năng lượng sơ cấp tới từ các bộ phận dẫn ion 113 khỏi tới vùng tách ER. Tuy nhiên, các ion dương và các electron năng lượng thấp có thể truyền qua bộ phận lọc vào trong vùng tách ER.

Hệ thống tách điện cực và gia tốc trước 111 bao gồm năm điện cực 111C, 111D, 111E, 111F và 111G, mỗi điện cực có 142 lỗ hoặc khe hở 111B được tạo thành trục giao qua đó và được sử dụng để tạo ra chùm ion âm. Mỗi trong số các khe hở tách 111B có đường kính 18 mm, sao cho tổng diện tích tách ion của 142

khe hở tách là khoảng 361 cm^2 . Mật độ dòng ion âm là 25 mA/cm^2 và được yêu cầu tạo ra chùm ion 9 A. Từ trường của các nam châm bộ phận lọc 114C được mở rộng vào trong các khe giữa bộ phận tách tĩnh điện và các lưới gia tốc trước 111 để làm lệch các electron được tách đồng thời trên các rãnh ở bề mặt trong của các khe hở 111B trong các điện cực tách 111C, 111D, và 111E. Từ trường của các nam châm bộ phận lọc từ tính 114C cùng với từ trường của các nam châm bổ sung 114D tạo ra sự làm lệch và chắn các electron, được tách đồng thời với các ion âm. Các nam châm bổ sung 114D bao gồm mảng gồm các nam châm được lắp giữa các bộ phận giữ của các điện cực của bộ phận gia tốc 111F và 111G của lưới gia tốc được đặt xuôi từ lưới tách bao gồm các điện cực tách 111C, 111D, và 111E. Điện cực lưới thứ ba 111E, điện cực này gia tốc các ion âm thành năng lượng 120 keV , được phân cực dương từ điện cực lưới nối đất 111D để phản xạ các ion dương tạo dòng ngược đi vào lưới gia tốc trước.

Các bộ phận dẫn plasma 113 bao gồm hai bộ phận luân phiên, cụ thể là bộ phận dẫn plasma RF và bộ phận dẫn nguyên tử phóng điện hồ quang. Bộ phận tạo plasma hồ quang phóng điện hồ quang được phát triển bởi BINP được sử dụng trong bộ phận dẫn nguyên tử. Dấu hiệu của bộ phận tạo plasma phóng điện hồ quang gồm tạo thành vòi phun plasma định hướng. Các ion trong vòi phun giãn nở di chuyển mà không va chạm và do sự gia tốc nhờ hạ các năng lượng khuếch đại điện thế plasma lưỡng cực trong khoảng $\sim 5\text{-}20 \text{ eV}$. Vòi phun plasma có thể được hướng lên trên tới bề mặt tantan hoặc molybden nghiêng của bộ phận chuyển đổi (xem 320 trên Fig.10), trong đó kết quả của việc trung hòa và phản xạ của vòi phun, dòng các nguyên tử hydro được tạo ra. Năng lượng của các nguyên tử hydro có thể được tăng lên quá khoảng 5 đến 20 eV ban đầu nhờ phân cực âm đối với bộ phận chuyển đổi so với hộp plasma 115. Các thử nghiệm để thu được các dòng nguyên tử mạnh với bộ phận chuyển đổi này đã được thực hiện ở Budker Institute vào những năm 1982-1984.

Trên Fig.10, bố trí phát triển của nguồn của các nguyên tử năng lượng thấp 300 được thể hiện là bao gồm van khí 310, bộ phận lồng catốt 312, phần cấp điện qua bộ phận gia nhiệt 314, các ống góp nước làm mát 316, bộ phận phát electron

LaB6 318, và bộ phận chuyển đổi ion–nguyên tử 320. Trong các thử nghiệm, dòng của các nguyên tử hydro với dòng điện tương đương nằm trong khoảng từ 20 đến 25 A và năng lượng thay đổi trong khoảng từ 20 eV đến 80 eV đã được tạo ra với hiệu suất lớn hơn 50%.

Nguồn này có thể được sử dụng trong nguồn ion âm để cung cấp các nguyên tử với năng lượng được tối ưu để tạo ra một cách hiệu quả các ion âm trên bề mặt được xer hóa của các lưới plasma 111.

ĐƯỜNG VẬN CHUYỂN CHÙM NĂNG LƯỢNG THẤP

Các ion H⁻ được tạo ra và được gia tốc trước thành năng lượng 120keV bởi nguồn ion 110 trên đường dẫn của chúng dọc theo đường vận chuyển chùm năng lượng thấp 205 được dịch chuyển vuông góc với hướng chuyển động của chúng 440 mm có độ lệch bởi từ trường ngoại vi của nguồn ion 110 và bởi từ trường của hai nam châm cong được tạo hình mem đặc biệt 130. Sự dịch chuyển này của chùm ion âm trên đường vận chuyển chùm năng lượng thấp 205 (như được minh họa trên Fig.11) được đưa ra để chia tách nguồn ion 110 và các vùng bộ phận gia tốc năng lượng cao 150. Sự dịch chuyển này được sử dụng để tránh sự xuyên qua của các nguyên tử nhanh bắt nguồn từ việc bóc tách chùm H⁻ trên hydro dư trong ống gia tốc 150, để giảm các dòng của xer và hydro từ nguồn ion 110 tới ống gia tốc 150, và còn ngăn thông lượng ion thứ cấp từ ống gia tốc 150 tới nguồn ion 110. Trên Fig.11 các quỹ đạo được tính toán của các ion H⁻ trên đường vận chuyển chùm năng lượng thấp được thể hiện.

ỐNG DẪN CHÙM NĂNG LƯỢNG CAO

Chùm năng lượng thấp đi ra từ đường chùm năng lượng thấp đi vào bộ phận gia tốc nhiều khe hở tĩnh điện thông thường 150 được thể hiện trên Fig.12.

Các kết quả tính toán của sự gia tốc chùm ion âm 9A tính đến sự đóng góp điện tích trong không gian được thể hiện trên Fig.13. Các ion được gia tốc từ năng lượng 120 keV lên tới 1 MeV. Thế gia tốc trên ống 150 là 880 kV, và bước điện thế giữa các điện cực là 110 kV.

Việc tính toán thể hiện là cường độ trường không vượt quá 50 kV/cm trong ống gia tốc được tối ưu 150 trên các điện cực trong các vùng có thể phát triển của điện tích electron.

Sau khi gia tốc chùm đi qua bộ ba 230 gồm các thấu kính tứ cực thông thường trong công nghiệp 231, 232 và 233 (Fig.14), chúng được sử dụng để bù sự lệch tiêu nhẹ của chùm trên lối ra của ống gia tốc 150 và để tạo thành chùm có kích thước ưu tiên trên cổng ra. Bộ ba 230 được lắp trong thùng chân không 255 của đường vận chuyển chùm năng lượng cao 265. Mỗi trong số các thấu kính tứ cực 231, 232 và 233 bao gồm bộ gồm các nam châm điện tứ cực thông thường mà tạo ra các trường hội tụ từ tính tùy chỉnh như được thấy trong tất cả các bộ phận gia tốc hạt hiện đại thông thường.

Các quỹ đạo được tính toán của chùm ion âm 9 A với nhiệt độ ngang của 12 eV trong ống gia tốc 150, các thấu kính tứ cực 230 và đường vận chuyển chùm năng lượng cao 265 được thể hiện trên Fig.15. Việc tính toán theo chùm vượt quá điểm hội tụ của nó.

Đường kính được tính toán của chùm trung tính với dòng tương đương 6A sau bộ phận trung hòa một khoảng cách là 12,5 m ở một nửa chiều cao của biên dạng hướng kính là 140 mm và 95 % dòng của chùm nằm trong đường tròn có đường kính 180mm.

TRUNG HÒA

Bộ phận trung hòa quang tách 170 được lựa chọn cho hệ thống chùm có thể thu được việc bóc tách nhiều hơn 95% đối với chùm ion. Bộ phận trung hòa 170 bao gồm mảng gồm các đèn xenon và bẫy ánh sáng hình trụ với các thành phản xạ cao để tạo ra mật độ photon yêu cầu. Các gương được làm mát với hệ số phản xạ lớn hơn 0,99 được sử dụng để điều tiết thông lượng công suất trên các thành ở khoảng 70 kW/cm². Theo phương án khác, có thể sử dụng bộ phận trung hòa plasma sử dụng công nghệ thông thường để thay thế, nhưng sẽ chịu giảm nhẹ hiệu

suất. Tuy nhiên, hiệu suất trung hòa $\sim 85\%$ của pin plasma là hoàn toàn đủ nếu hệ thống hồi phục năng lượng có hiệu suất $>95\%$, như được dự đoán.

Plasma của bộ phận trung hòa plasma được giữ trong buồng hình trụ 175 với từ trường đa cực ở các thành, nó được tạo ra bởi mảng gồm các nam châm vĩnh cửu 172. Hình vẽ tổng quát của thiết bị giữ được thể hiện trên Fig.16. Bộ phận trung hòa 170 bao gồm các ống góp nước làm mát 171, các nam châm vĩnh cửu 172, các cụm catôt 173, và các catôt LaB6 174.

Buồng hình trụ 175 dài từ 1,5 đến 2m và có các khe hở ở các đầu để chùm đi qua. Plasma được tạo ra nhờ sử dụng một số cụm catôt 173 được lắp ở tâm của buồng giữ 175. Khí hoạt động được cung cấp gần tâm của thiết bị 170. Trong các thử nghiệm với nguyên mẫu của bộ phận trung hòa plasma 170 này, đã quan sát được là việc giữ các electron bởi các từ trường đa cực 172 ở các thành là đủ tốt và tốt hơn đáng kể so với việc giữ các ion plasma. Để cân bằng các tổn thất ion và electron, điện thế âm đáng kể xuất hiện trong plasma, sao cho các ion được giữ một cách hiệu quả bởi điện trường.

Việc giữ plasma đủ lâu dẫn đến công suất tương đối thấp của điện tích được yêu cầu để chịu được mật độ plasma khoảng 10^{13}cm^{-3} trong bộ phận trung hòa 170.

THU HỒI NĂNG LƯỢNG

Có các nguyên nhân mục tiêu nhằm đạt được hiệu suất công suất cao trong các điều kiện của sáng chế. Trước tiên, đó là: dòng tương đối nhỏ của chùm ion và sự phân tán năng lượng thấp. Trong sơ đồ được mô tả ở đây, với việc sử dụng các đích plasma hoặc hơi-kim loại, dòng ion dư có thể được mong đợi là $\sim 3\text{A}$ sau bộ phận trung hòa. Các dòng ion bị loại bỏ này với điện tích dương hoặc âm sẽ được làm lệch hướng thông qua nam châm làm lệch 180 tới hai bộ phận thu hồi năng lượng, lần lượt, một bộ phận cho ion dương và một bộ phận cho ion âm. Có thể thực hiện các mô phỏng bằng số đối với việc giảm tốc của các chùm ion dư bị loại bỏ này thông thường với năng lượng 1 MeV và 3A trong các bộ phận chuyển đổi trực tiếp bên trong bộ phận thu hồi mà không cần bù điện tích không gian. Bộ phận

chuyển đổi trực tiếp chuyển đổi phần một cách trực tiếp năng lượng quan trọng nằm trong chùm ion dư bị loại bỏ thành điện và cung cấp phần năng lượng còn lại như nhiệt chất lượng cao để kết hợp vào trong chu trình nhiệt. Các bộ phận chuyển đổi trực tiếp tuân theo thiết kế của bộ phận giảm tốc nhiều khe hở tĩnh điện, nhờ đó các đoạn liên tiếp của các điện cực tích điện tạo ra các trường võ theo chiều dọc và hấp thụ động năng của các ion.

Fig.17 thể hiện các kết quả của các tính toán hai chiều về sự giảm tốc chùm ion trong bộ phận chuyển đổi. Từ các tính toán này, thấy được là sự giảm tốc của chùm ion với năng lượng 1MeV xuống năng lượng 30 keV là hoàn toàn có thể thực hiện được, theo đó có thể thu được trị số của hệ số thu hồi nằm trong khoảng từ 96 đến 97 %.

Các nỗ lực phát triển trước đây về các máy phun chùm trung tính dựa trên các ion âm công suất lớn đã được phân tích để phát hiện các vấn đề quyết định mà cho đến nay ngăn cản việc thu được các máy phun có hoạt động bền ở trạng thái ổn định ~1MeV và công suất một vài MW. Trong số chúng, quan trọng nhất là:

- Kiểm soát lớp xeri, và tổn thất và tái trầm tích (kiểm soát nhiệt độ, v.v.)
- Tối ưu hóa việc sản xuất bề mặt của các ion âm để tách
- Chia tách các electron cùng tạo dòng
- Tính không đồng nhất của biên dạng dòng ion ở lưới plasma do các từ trường trong
- Mật độ dòng ion thấp
- Các bộ phận gia tốc phức tạp và nhiều công nghệ mới vẫn đang được phát triển (các bộ cách điện lớn, khả năng giữ điện áp thấp, v.v.)
- Các ion dương tạo dòng ngược

- Các công nghệ về bộ phận trung hòa tiên tiến (plasma, photon) không được chứng minh ở các điều kiện liên quan
- Việc chuyển đổi năng lượng không được phát triển đầy đủ
- Việc chặn chùm trong ống dẫn

Các giải pháp mới đối với các vấn đề được đưa ra ở đây có thể được nhóm lại theo hệ thống mà chúng được kết nối với, cụ thể là nguồn ion âm, tách/gia tốc, bộ phận trung hòa, bộ phận chuyển đổi năng lượng, v.v..

1.0 Nguồn ion âm 110:

1.1. Các thành trong của hộp plasma 115 và các bộ phận dẫn plasma 113 ở nhiệt độ cao (150-200° C) để ngăn sự tích tụ xeri trên các bề mặt của chúng.

Nhiệt độ cao:

- ngăn sự giải phóng xeri không được kiểm soát do giải hấp/phóng ra và giảm quá trình xuyên của nó vào trong hệ thống quang học ion (các lưới 111),
- giảm sự hấp thụ và kết hợp lại của các nguyên tử hydro trong lớp xeri ở các thành,
- giảm sự tiêu thụ và nhiễm độc của xeri.

Để đạt được điều này, chất lưu nhiệt độ cao được làm tuần hoàn qua tất cả các thành phần. Nhiệt độ của các bề mặt được ổn định tiếp thông qua việc kiểm soát hồi tiếp chủ động, nghĩa là: nhiệt được thải ra hoặc thêm vào trong hoạt động CW và các chế độ quá độ. Trái ngược với phương án này, tất cả các máy phun chùm theo kế hoạch và hiện có khác đều sử dụng các hệ thống thụ động có làm mát bằng nước và các phần chặn nhiệt giữa các ống chứa chất làm mát và các thân điện cực nóng.

1.2. Xeri được cung cấp trực tiếp thông qua ống góp phân phối lên trên bề mặt của các lưới plasma 111, không phải cho plasma. Việc cung cấp xeri thông qua ống góp phân phối:

- tạo ra sự cung cấp xeri phân tán và có kiểm soát trong tất cả thời gian có chùm,
- ngăn sự thiếu hụt xeri, sự thiếu hụt này thường do chặn bởi plasma,
- giảm sự giải phóng xeri từ plasma sau sự tích tụ của nó và không chặn trong các xung dài.

Ngược lại, các nguồn ion hiện có cung cấp xeri một cách trực tiếp vào trong buồng phóng điện.

2.0 Bộ phận gia tốc trước (100-keV) 111:

2.1. Từ trường được sử dụng để làm lệch các electron được tách đồng thời trong các vùng tách ion và gia tốc trước được tạo ra bởi các nam châm bên ngoài, không phải bởi các nam châm được gắn vào trong thân lưới, như được chấp thuận theo các thiết kế trước đây:

- các đường từ trường trong các khe cao áp giữa các lưới được làm lõm mọi chỗ hướng về phía các lưới được phân cực âm, nghĩa là hướng về phía lưới plasma trong các khe tách và hướng về phía lưới tách trong khe gia tốc trước. Độ lõm của các đường từ trường hướng về phía các lưới được phân cực âm ngăn sự xuất hiện của các bẫy Penning cục bộ trong các khe cao áp và việc bẫy/nhân của các electron được tách đồng thời, do nó có thể xảy ra trong các kết cấu có các nam châm được gắn vào.

- các điện cực của hệ thống quang học ion (ion optical system - IOS) (các lưới 111) không có các nam châm NIB “nhiệt độ thấp” được gắn vào có thể được gia nhiệt lên tới nhiệt độ cao (nằm trong khoảng từ 150 đến 200° C) và cho phép thải nhiệt trong các xung dài nhờ sử dụng các chất lưu nóng (nằm trong khoảng từ 100 đến 150° C).

- việc không có các nam châm được gắn vào tiết kiệm không gian giữa các khe hở phát của các lưới và cho phép đưa vào các kênh gia nhiệt/làm mát điện cực có hiệu quả hơn.

Ngược lại, các thiết kế trước đây sử dụng các nam châm được gắn vào trong thân lưới. Điều này dẫn đến việc tạo ra các bẫy điện từ tĩnh trong các khe cao áp, các bẫy này bẫy và nhân các electron được tách đồng thời. Điều này có thể gây ra việc giảm đáng kể về dòng của chùm được tách. Nó còn ngăn hoạt động ở nhiệt độ cao cũng như việc thực hiện gia nhiệt/làm mát thích hợp, điều này có tính quyết định đối với hoạt động xung dài.

2.2. Tất cả các điện cực của hệ thống quang học ion (các lưới 111) đều luôn luôn duy trì được ở nhiệt độ cao (nằm trong khoảng từ 150 đến 200° C) để ngăn sự tích tụ xeri ở các bề mặt của chúng và để tăng cường độ cao áp của các khe tách và gia tốc trước. Ngược lại, trong các thiết kế thông thường, các điện cực được làm mát bằng nước. Các điện cực có nhiệt độ cao vì có các phần chặn nhiệt giữa các ống chứa chất làm mát và các thân điện cực, và không có hồi tiếp chủ động.

2.3. Việc làm nóng ban đầu của các lưới 111 lúc khởi động và thải nhiệt trong giai đoạn có chùm được thực hiện nhờ cho chạy chất lưu nóng với nhiệt độ có thể kiểm soát được thông qua các kênh trong nằm trong các lưới 111.

2.4. Khí được bơm bổ sung ra khỏi khe gia tốc trước thông qua khoảng trống bên và các khe hở rộng trên các bộ phận giữ lưới để giảm áp suất khí dọc theo đường chùm và để ngăn chặn việc bóc tách các ion âm và việc tạo ra/nhân của các hạt thứ cấp trong các khe.

2.5. Việc bao gồm các lưới được phân cực dương 111 được sử dụng để đẩy lùi các ion dương tạo dòng ngược.

3.0 Bộ phận gia tốc cao áp (1 MeV) 150:

3.1. Bộ phận gia tốc điện áp cao 150 không được ghép trực tiếp vào nguồn ion, mà được đặt cách ra khỏi nguồn ion bởi vùng chuyển tiếp (đường vận chuyển

chùm năng lượng thấp (low energy beam transport line – LEBT) 205) với các nam châm cong 130, các bơm chân không và các bẫy xeri. Vùng chuyển tiếp:

- chặn và loại bỏ hầu hết các hạt cùng tạo dòng bao gồm các electron, photon và các hạt trung tính khỏi chùm,
- bơm ra khí, khí này phát ra từ nguồn ion 110 và ngăn nó tới bộ phận gia tốc điện áp cao 150,
- ngăn xeri khỏi chảy ra khỏi nguồn ion 110 và xuyên vào bộ phận gia tốc điện áp cao 150,
- ngăn các electron và các hạt trung tính, được tạo ra nhờ bóc tách các ion âm, khỏi đi vào bộ phận gia tốc điện áp cao 150.

Trong các thiết kế trước đây, nguồn ion được kết nối trực tiếp vào bộ phận gia tốc điện áp cao. Điều này làm cho bộ phận gia tốc điện áp cao chịu tất cả các dòng khí, hạt tích điện, và xeri từ nguồn ion và theo hướng ngược lại. Trở ngại lớn này làm giảm khả năng giữ điện áp của bộ phận gia tốc điện áp cao.

3.2. Các nam châm cong 130 trong LEBT 205 làm lệch và hội tụ chùm lên trên trục của bộ phận gia tốc. Các nam châm cong 130:

- bù sự lệch và dịch chùm bất kỳ trong khi vận chuyển qua từ trường của nguồn ion 110,
- dịch giữa các trục của bộ phận gia tốc trước 111 và bộ phận gia tốc điện áp cao 150, giảm dòng vào của các hạt cùng tạo dòng tới bộ phận gia tốc điện áp cao 150 và ngăn các hạt được gia tốc cao khỏi tạo dòng ngược (các ion dương và các hạt trung tính) vào trong bộ phận gia tốc trước 111 và nguồn ion 110.

Ngược lại, các hệ thống trước đây không có sự chia tách vật lý giữa các giai đoạn gia tốc và, theo đó, không cho phép dịch trục như là dấu hiệu ở đây.

3.3. Các nam châm của đường chùm năng lượng thấp 205 hội tụ chùm vào lối vào của bộ phận gia tốc có khe hở đơn 150:

- Việc hội tụ chùm tạo thuận lợi cho tính đồng nhất của chùm đi vào bộ phận gia tốc 150 so với các hệ thống lưới nhiều khe hở.

3.4. Ứng dụng bộ phận gia tốc có khe hở đơn:

- đơn giản hóa việc sắp thẳng hàng hệ thống và hội tụ chùm
- tạo thuận lợi cho việc bơm khí và loại bỏ hạt thứ cấp khỏi bộ phận gia tốc năng lượng cao 150
- giảm các tổn thất chùm trên các điện cực của bộ phận gia tốc năng lượng cao 150.

3.5. Các thấu kính từ 230 được sử dụng sau khi gia tốc để bù cho sự hội tụ quá trong bộ phận gia tốc 150 và để tạo thành chùm tựa song song.

Trong các thiết kế thông thường, không có phương tiện để hội tụ chùm và làm lệch, ngoại trừ trong chính bộ phận gia tốc.

4.0 Bộ phận trung hòa 170:

4.1. Bộ phận trung hòa plasma dựa trên hệ thống giữ plasma nhiều đỉnh với các nam châm vĩnh cửu trường lớn ở các thành;

- tăng hiệu suất trung hòa,
- giảm thiểu các tổn thất chung của máy phun chùm trung tính.

Các công nghệ này chưa từng được xem xét để ứng dụng trong các máy phun chùm trung tính quy mô lớn.

4.2. Bộ phận trung hòa photon – bẫy photon dựa trên hốc hình trụ với các thành phản xạ cao và bơm với các máy laze hiệu suất cao.

- tăng hơn nữa hiệu suất trung hòa,
- giảm thiểu hơn nữa các tổn thất chung của máy phun chùm trung tính.

Các công nghệ này chưa từng được xem xét để ứng dụng trong các máy phun chùm trung tính quy mô lớn.

5.0 Các bộ phận thu hồi:

5.1. Ứng dụng (các) bộ phận thu hồi năng lượng ion dư:

- tăng hiệu suất chung của máy phun.

Ngược lại, việc thu hồi không hề được dự tính trước trong các thiết kế thông thường.

Tài liệu tham khảo:

- [1.] L. W. Alvarez, Rev. Sci. Instrum. 22, 705 (1951)
- [2.] R.Hemsworth et al. Rev. Sc. Instrum., Vol. 67, p. 1120 (1996)
- [3.] Capitelli M. and Gorse C. IEEE Trans on Plasma Sci, 33, N. 6, p. 1832- 1844 (2005)
- [4.] Hemsworth R. S., Inoue T., IEEE Trans on Plasma Sci, 33, N.6, p. 1799-1813 (2005)
- [5.] B. Rasser, J. van Wunnik and J. Los Surf. Sci. 118 (1982), p. 697 (1982)
- [6.] Y. Okumura, H. Hanada, T. Inoue et al. AIP Conf. Proceedings # 210, NY, p. 169-183(1990)
- [7.] O. Kaneko, Y. Takeiri, K. Tsumori, Y. Oka, and M. Osakabe et al., “Engineering prospects of negative-ion-based neutral beam injection system from high power operation for the large helical device,” Nucl. Fus., vol. 43, pp. 692–699, 2003

Mặc dù sáng chế có thể dễ chấp nhận được các phương án biến đổi, và các dạng thay thế, nhưng các ví dụ cụ thể của sáng chế được thể hiện trên các hình vẽ và

được mô tả chi tiết trong bản mô tả này. Tất cả các tài liệu tham khảo được kết hợp toàn bộ theo cách cụ thể ở đây. Tuy nhiên, cần hiểu rằng sáng chế không bị giới hạn vào các phương pháp hoặc các dạng cụ thể được bộc lộ, mà ngược lại, sáng chế nhằm bao trùm tất cả các phương án biến đổi, phương án tương đương và thay thế mà vẫn nằm trong nguyên lý và phạm vi bảo hộ của các điểm yêu cầu bảo hộ kèm theo.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Máy phun chùm dựa trên ion âm bao gồm:

nguồn ion được tạo kết cấu để tạo ra chùm ion âm,

bộ phận gia tốc được đặt cách ra khỏi nguồn ion, và

vùng chuyển tiếp đặt vào giữa nguồn ion và bộ phận gia tốc, vùng chuyển tiếp bao gồm đường vận chuyển chùm năng lượng thấp, trong đó đường vận chuyển chùm năng lượng thấp bao gồm các nam châm cong mà làm lệch chùm theo cách trực giao với hướng chuyển động của chùm và hội tụ chùm lên trên trục của bộ phận gia tốc.

2. Máy phun theo điểm 1, trong đó nguồn ion bao gồm bộ chứa plasma và các bộ phận dẫn plasma.

3. Máy phun theo điểm 2, trong đó các thành trong của bộ chứa plasma được tạo kết cấu để duy trì các nhiệt độ cao nằm trong khoảng từ 150 đến 200° C.

4. Máy phun theo điểm 1, trong đó nguồn ion bao gồm bộ phận gia tốc trước.

5. Máy phun theo điểm 4, trong đó bộ phận gia tốc trước bao gồm lưới tĩnh điện có nhiều điện cực, trong đó mỗi trong số nhiều điện cực có nhiều khe hở.

6. Máy phun theo điểm 5, máy phun này còn bao gồm ống góp phân phối để cung cấp trực tiếp xeri trên lưới tĩnh điện của bộ phận gia tốc trước.

7. Máy phun theo điểm 5, máy phun này còn bao gồm hệ thống bơm để bơm khí ra khỏi khe gia tốc trước.

8. Máy phun theo điểm 5, trong đó ít nhất một trong số nhiều điện cực được phân cực dương để gia tốc trước các ion âm trong chùm ion âm.

9. Máy phun theo điểm 5, trong đó nhiều khe hở được tạo kết cấu để hội tụ và cho các ion âm đi qua để tạo thành chùm ion âm.

10. Máy phun theo điểm 4, trong đó bộ phận gia tốc trước bao gồm các nam châm bên ngoài để làm lệch các electron được tách đồng thời trong vùng tách ion và gia tốc trước.

11. Máy phun theo điểm 4, máy phun này còn bao gồm hệ thống bơm để bơm khí ra khỏi khe gia tốc trước.

12. Máy phun theo điểm 1, máy phun này còn bao gồm bộ phận trung hòa được nối kết với bộ phận gia tốc.

13. Máy phun chùm dựa trên ion âm bao gồm:

nguồn ion được tạo kết cấu để tạo ra chùm ion âm, nguồn ion bao gồm bộ phận gia tốc trước có lưới tĩnh điện,

bộ phận gia tốc được đặt cách ra khỏi bộ phận gia tốc trước, và

ống góp phân phối để cung cấp trực tiếp xeri trên lưới tĩnh điện của bộ phận gia tốc trước.

14. Máy phun theo điểm 13, máy phun này còn bao gồm vùng chuyển tiếp đặt vào giữa nguồn ion và bộ phận gia tốc.

15. Máy phun theo điểm 14, trong đó vùng chuyển tiếp bao gồm đường vận chuyển chùm năng lượng thấp.

16. Máy phun theo điểm 15, trong đó đường vận chuyển chùm năng lượng thấp bao gồm các bẫy xeri.

17. Máy phun theo điểm 15, trong đó đường vận chuyển chùm năng lượng thấp bao gồm các nam châm cong mà làm lệch chùm theo cách trực giao với hướng chuyển động của chùm và hội tụ chùm lên trên trục của bộ phận gia tốc.

18. Máy phun theo điểm 14, trong đó nguồn ion bao gồm bộ chứa plasma và các bộ phận dẫn plasma.

19. Máy phun theo điểm 18, trong đó các thành trong của bộ chứa plasma được tạo kết cấu để duy trì các nhiệt độ cao nằm trong khoảng từ 150 đến 200° C.

20. Máy phun theo điểm 13, trong đó bộ phận gia tốc trước bao gồm các nam châm bên ngoài để làm lệch các electron được tách đồng thời trong vùng tách ion và gia tốc trước.

21. Máy phun theo điểm 13, máy phun này còn bao gồm bộ phận trung hòa được nối kết với bộ phận gia tốc.

22. Máy phun chùm dựa trên ion âm bao gồm:

nguồn ion được tạo kết cấu để tạo ra chùm ion âm, nguồn ion bao gồm bộ phận gia tốc trước có các nam châm bên ngoài để làm lệch các electron được tách đồng thời trong vùng tách ion và gia tốc trước, và

bộ phận gia tốc được đặt cách ra khỏi bộ phận gia tốc trước.

23. Máy phun theo điểm 22, máy phun này còn bao gồm bộ phận trung hòa được nối kết với bộ phận gia tốc.

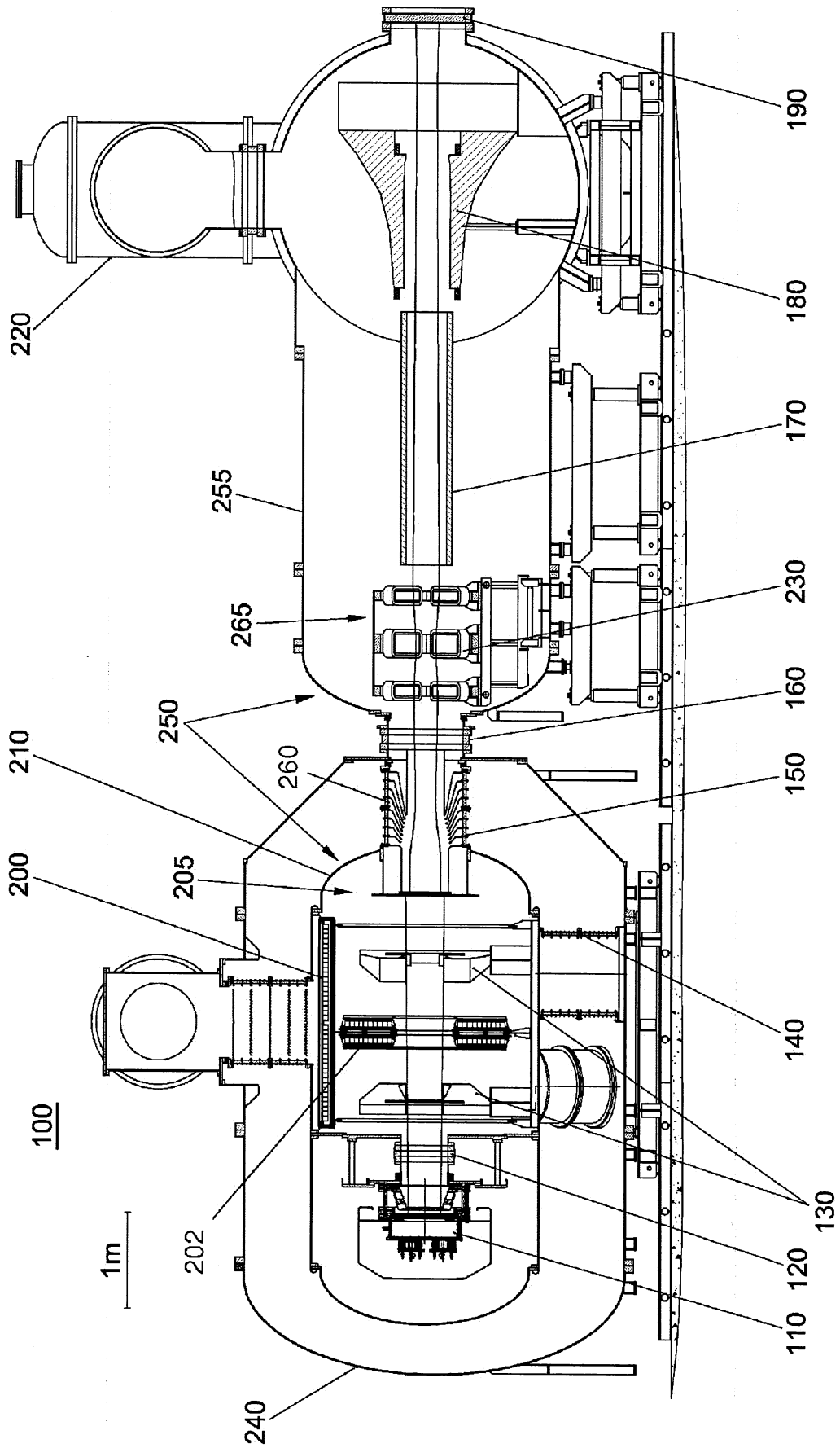


FIG. 1

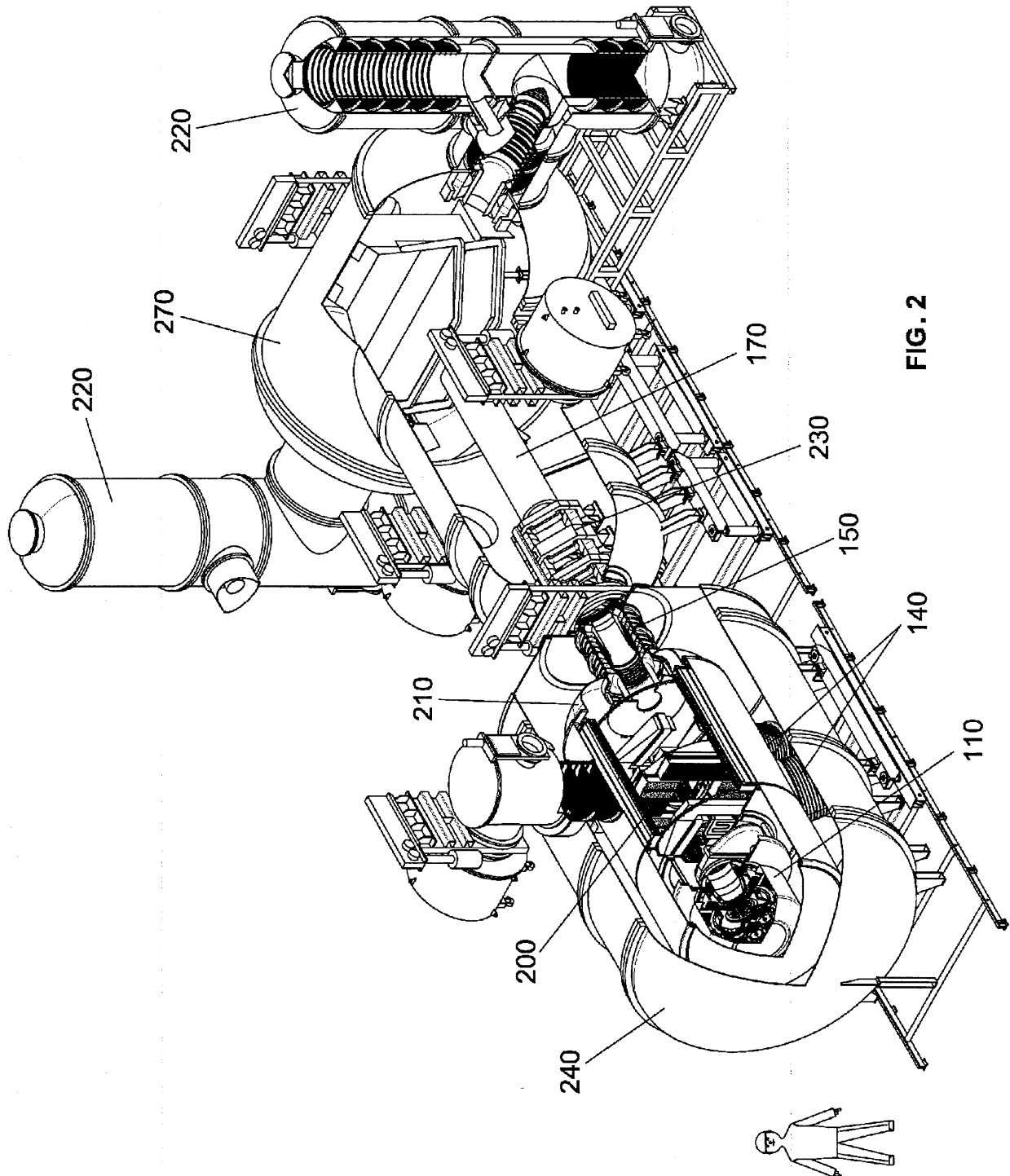


FIG. 2

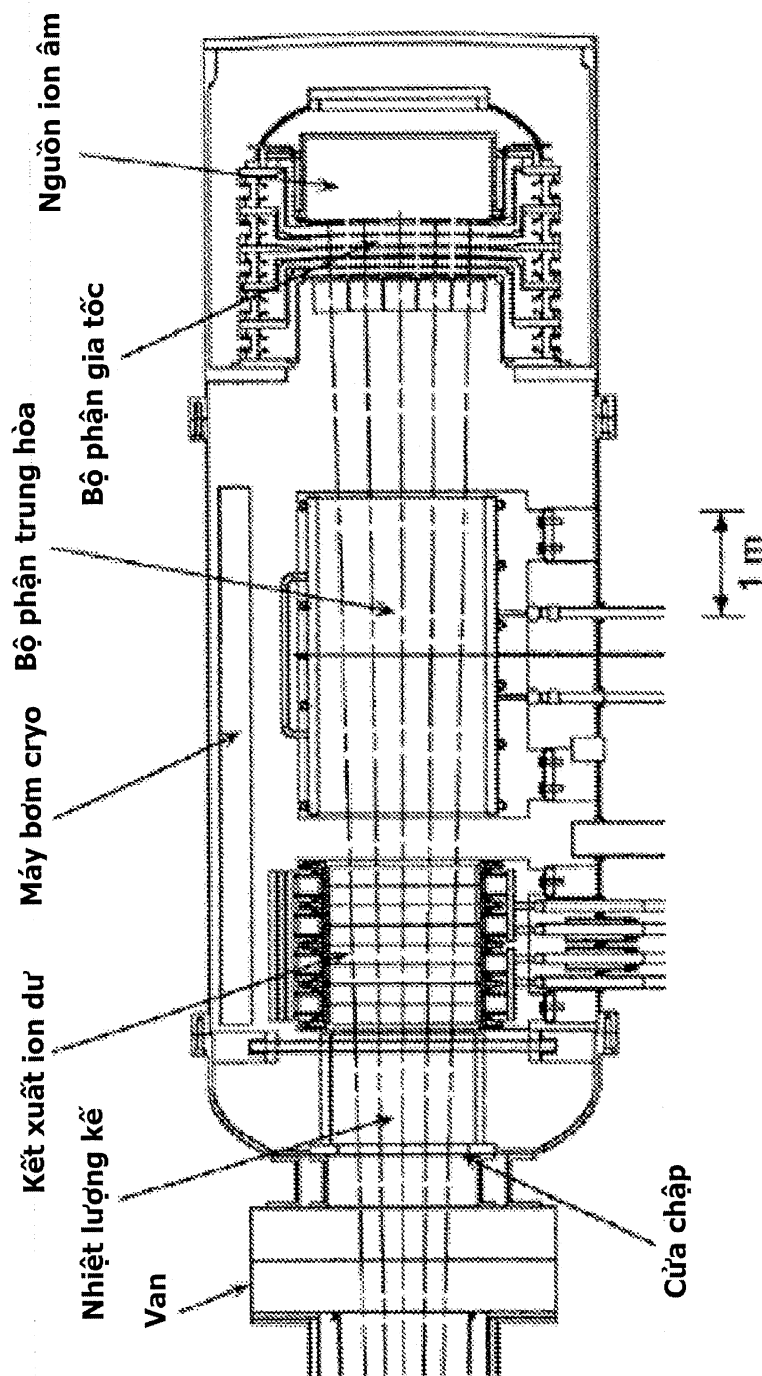


FIG.3

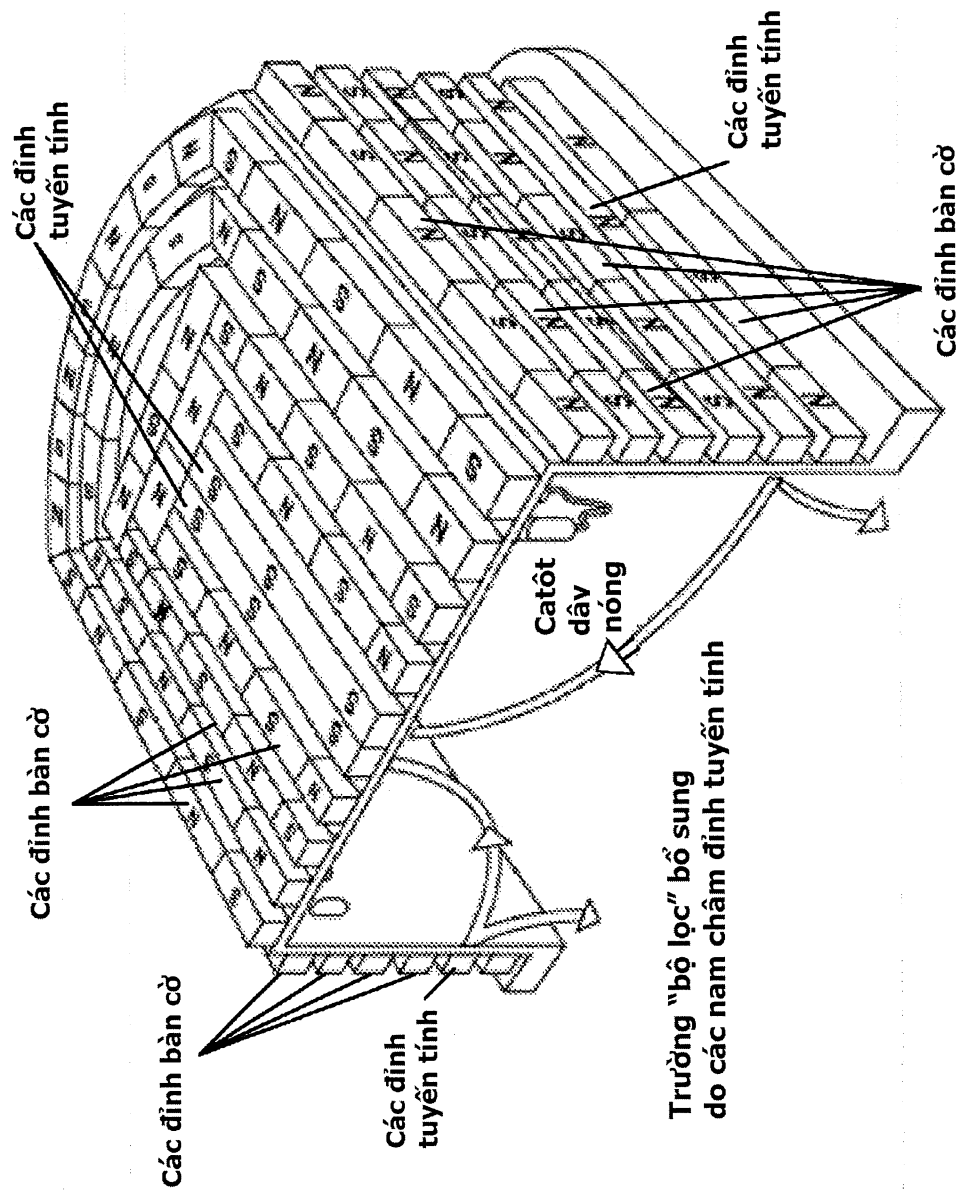


FIG. 4

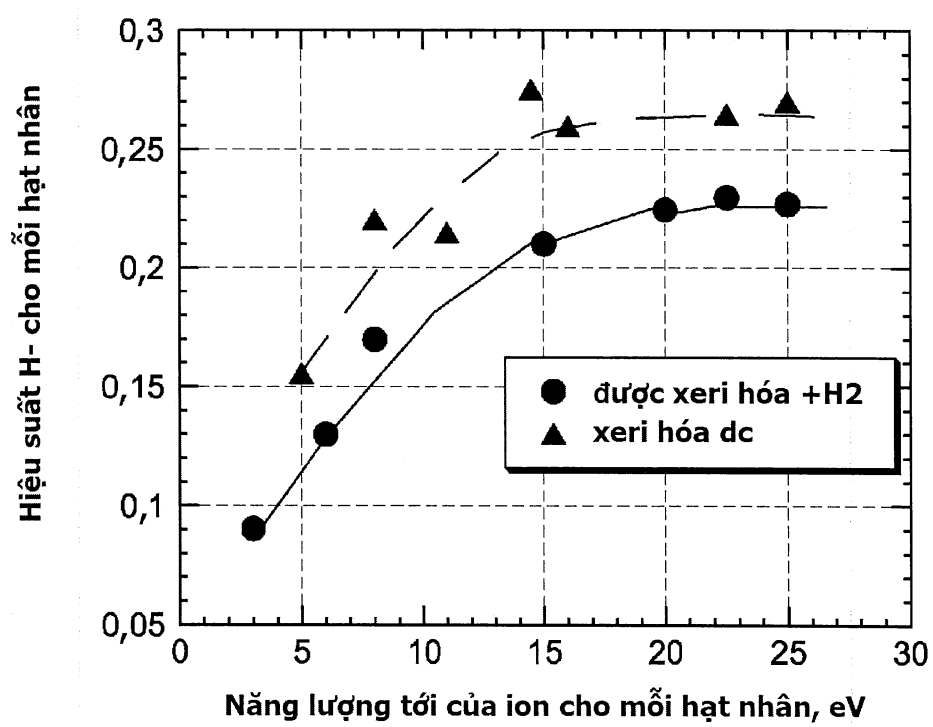


FIG.5

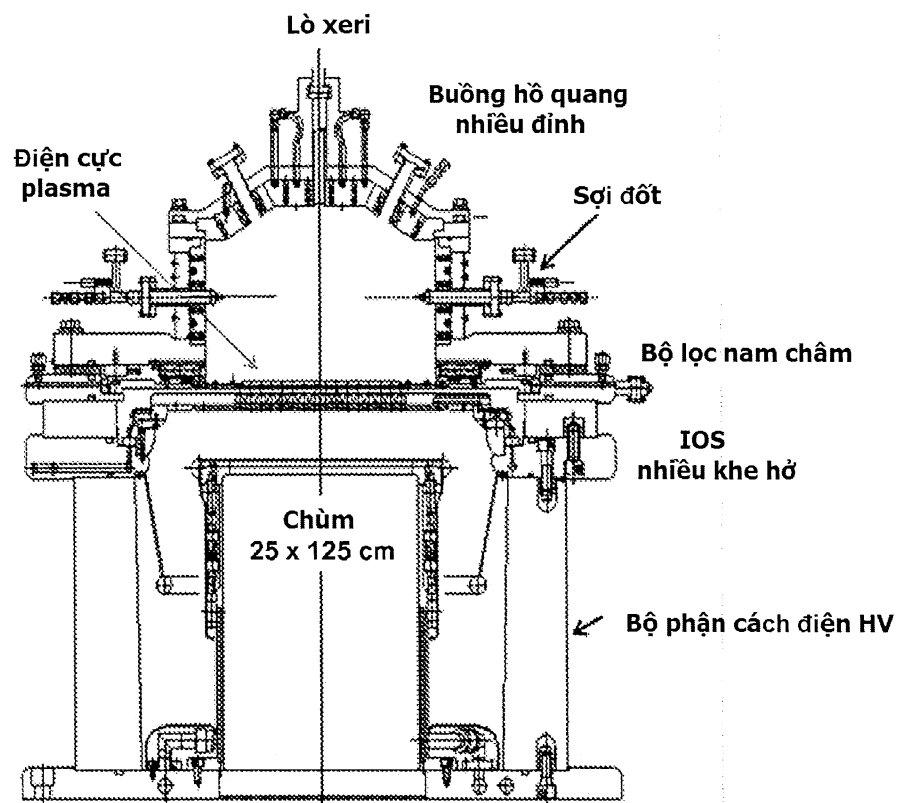


FIG. 6

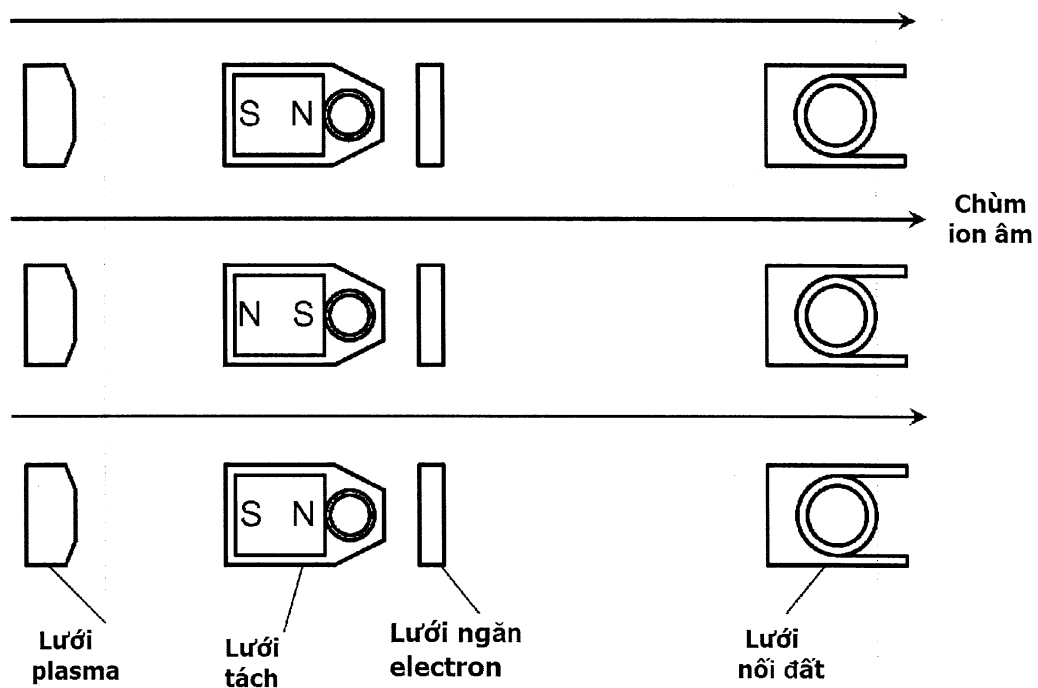


FIG. 7

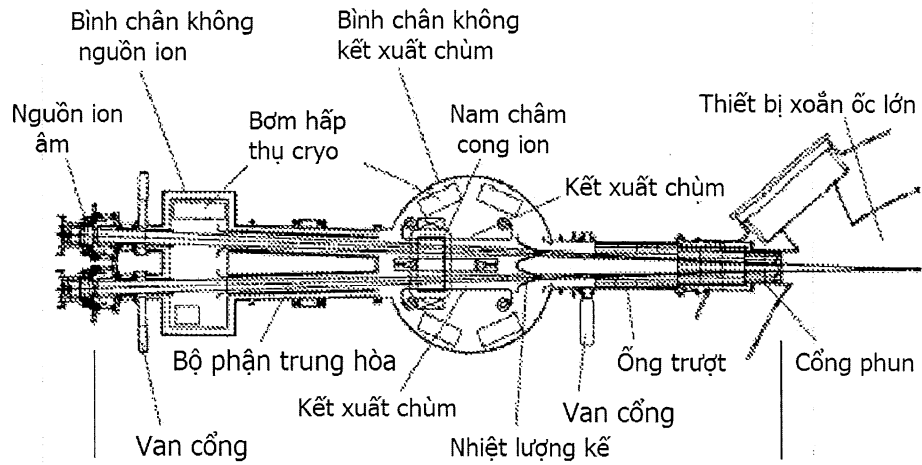


FIG. 8A

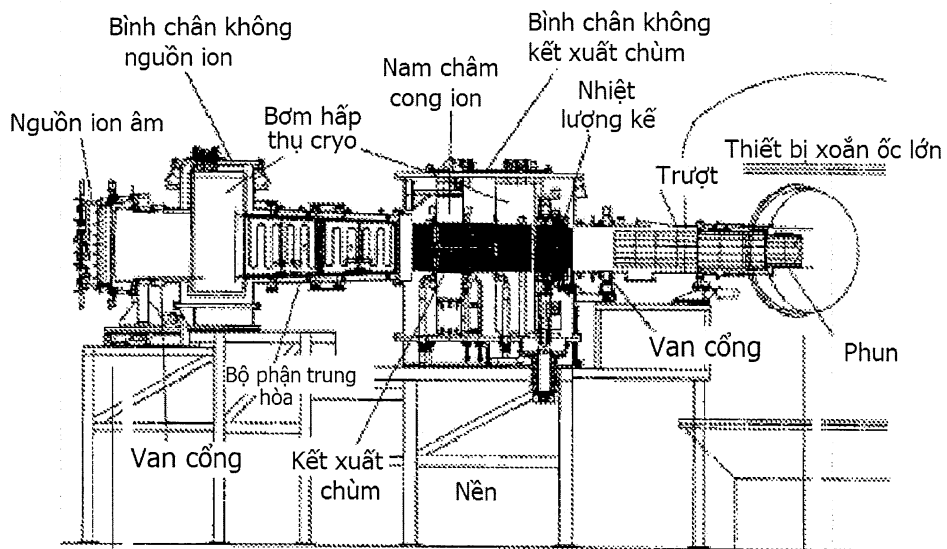


FIG. 8B

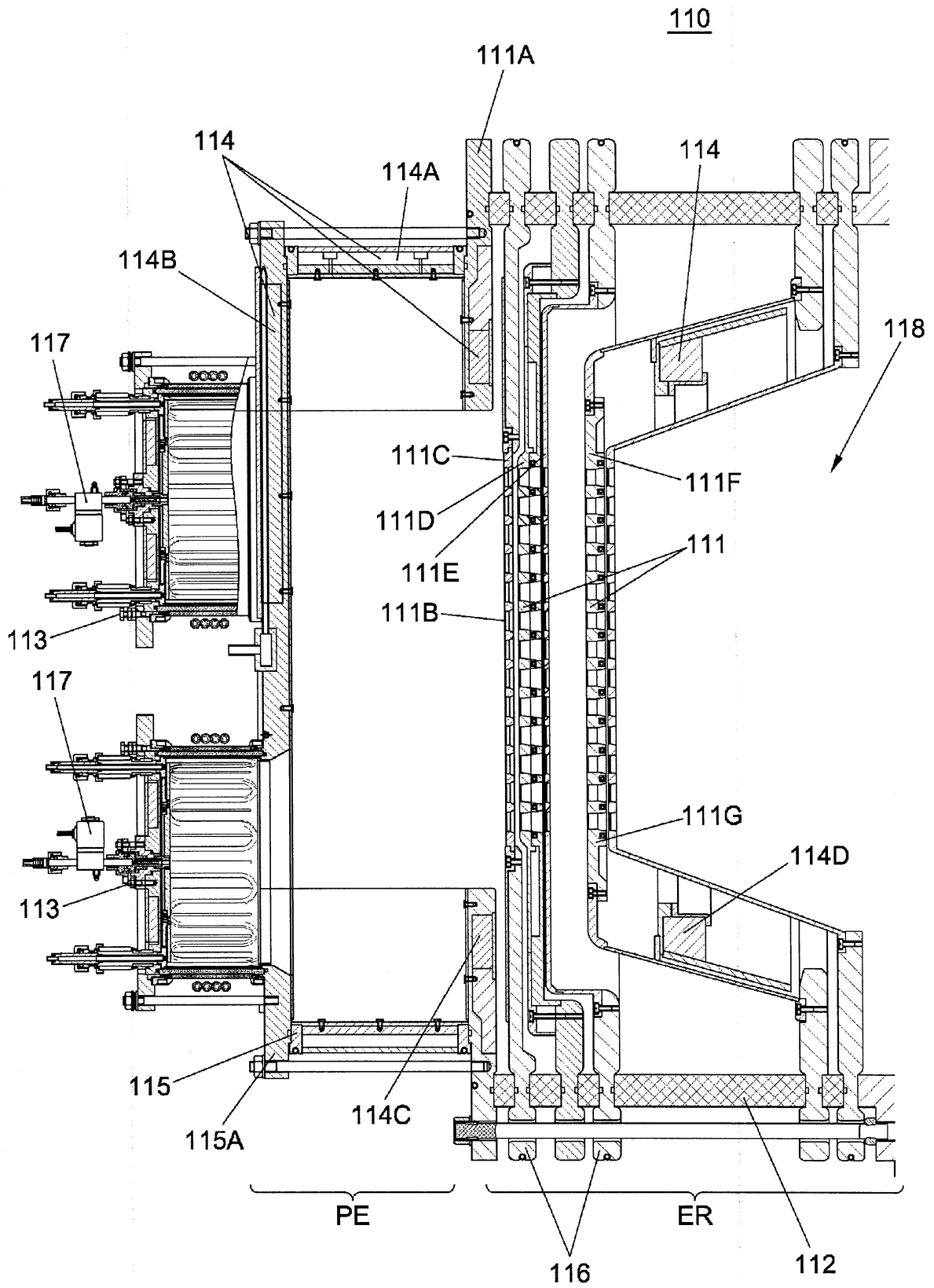


FIG. 9

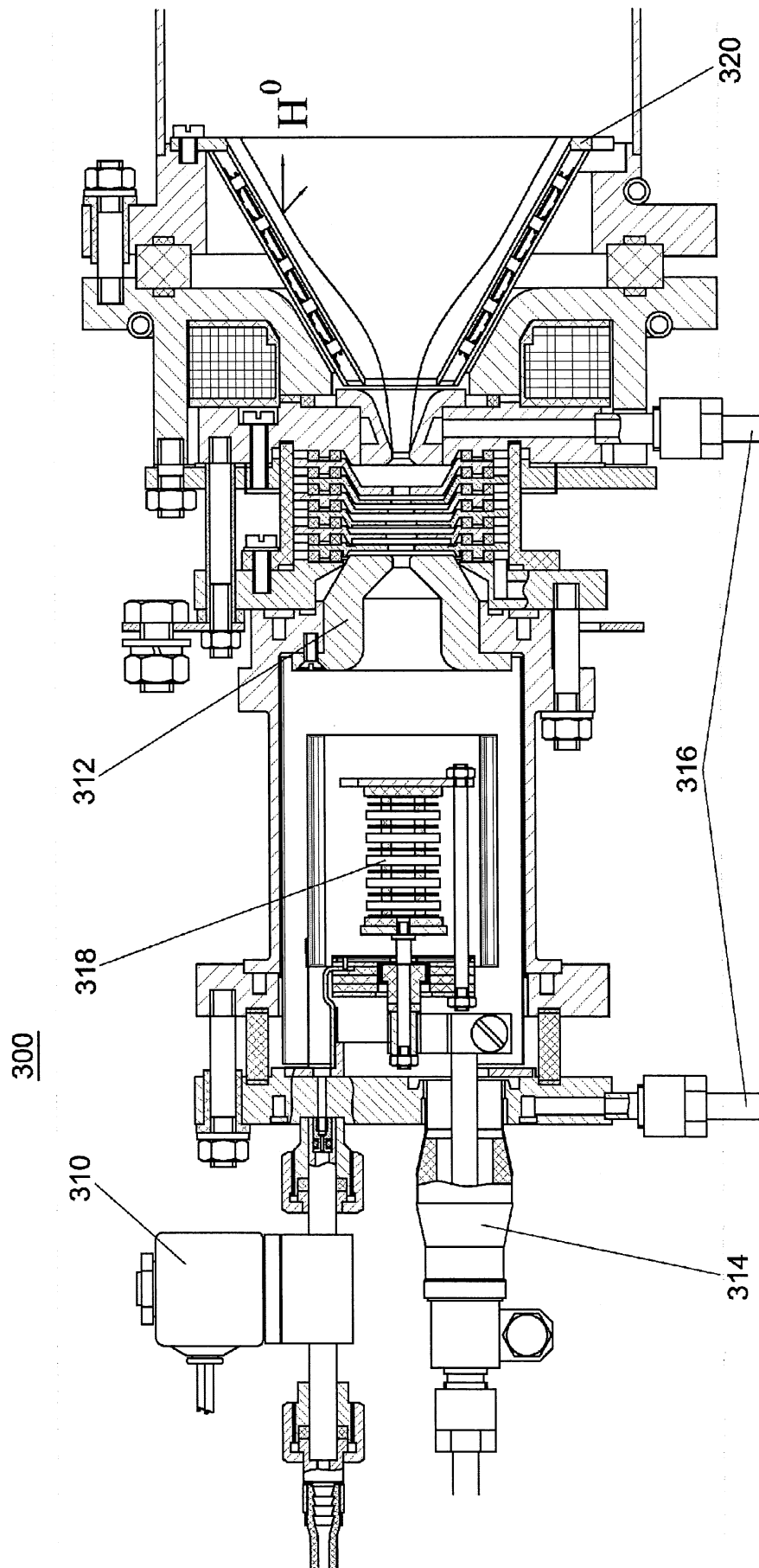


FIG. 10

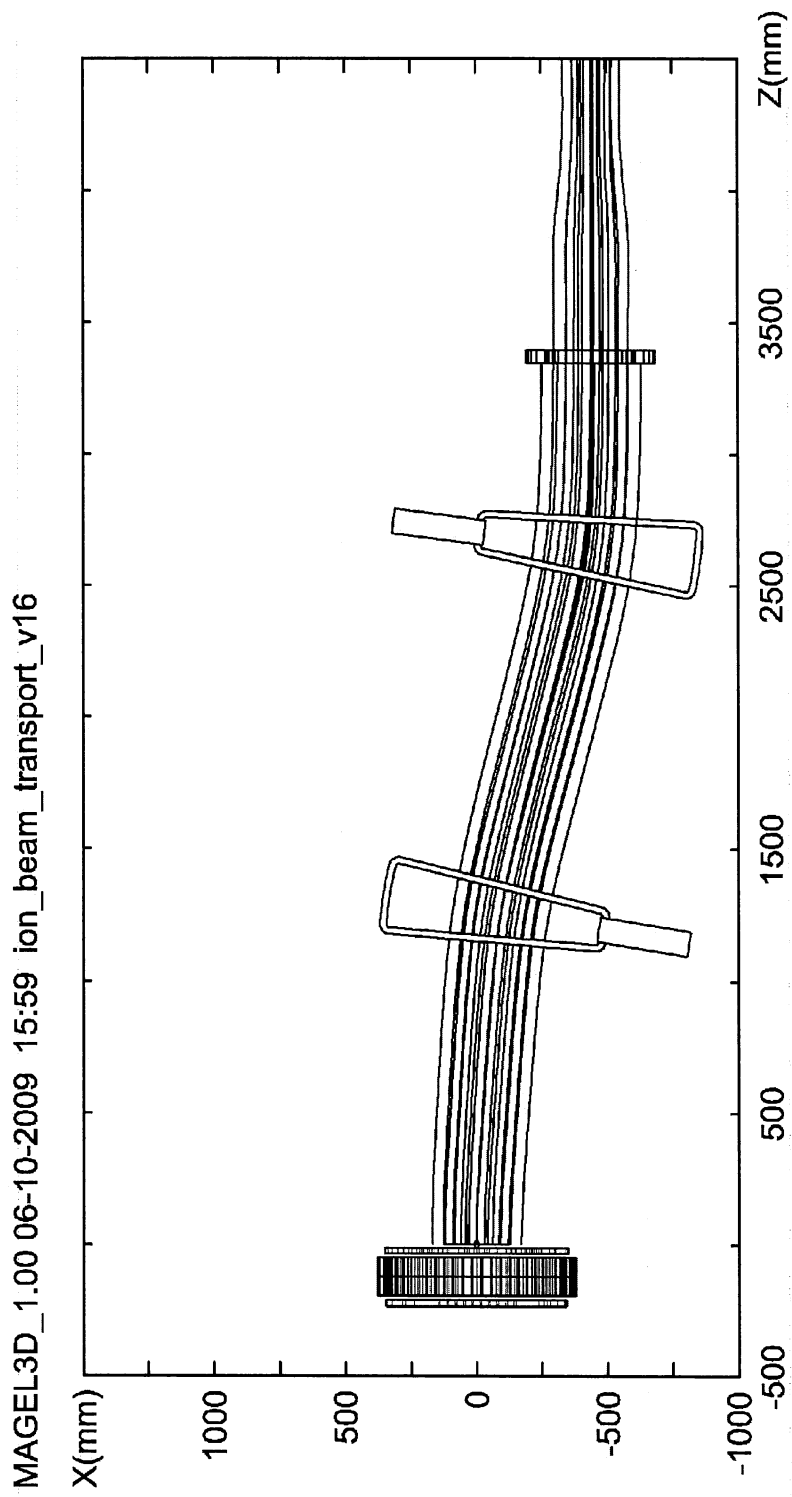


FIG.11

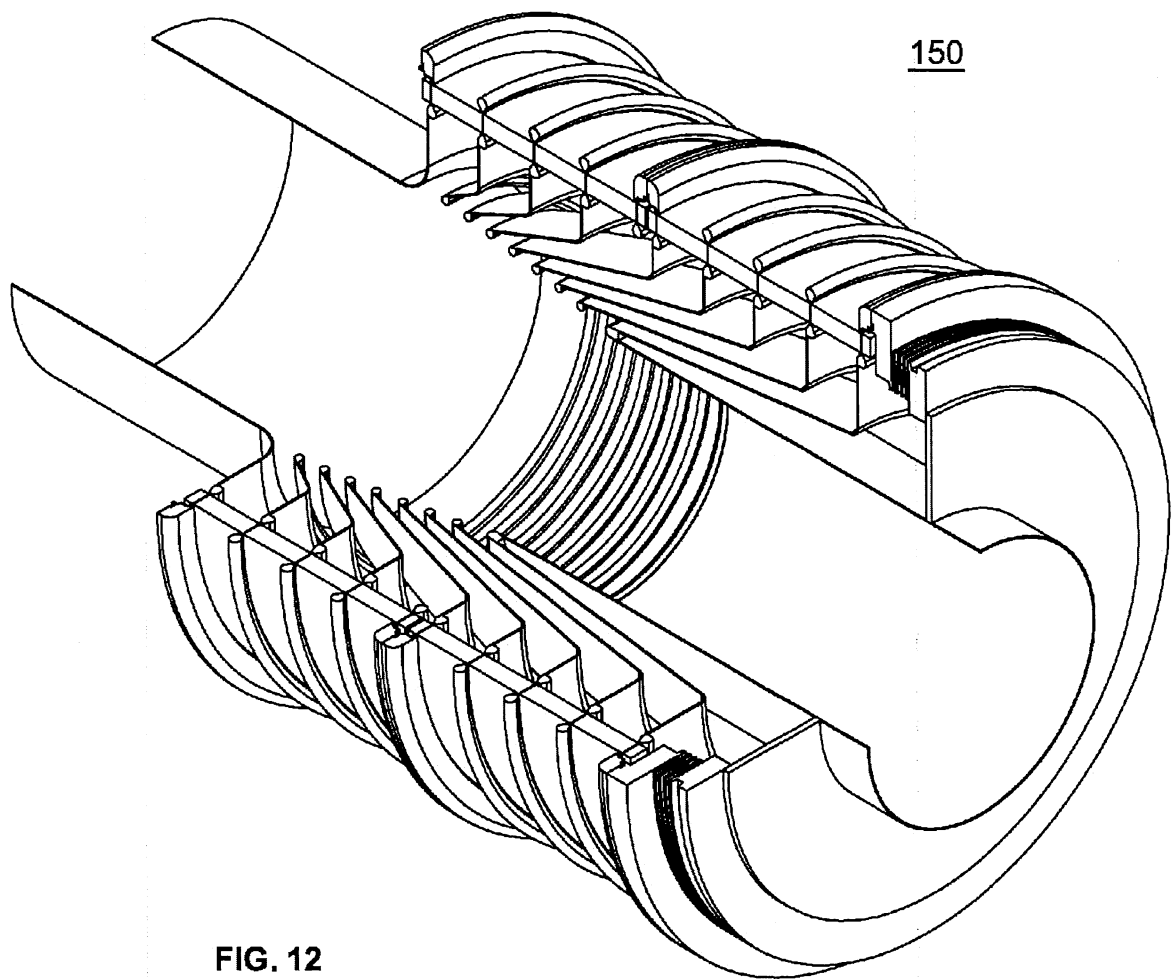


FIG. 12

ESAM_V1.6 09-07-2009 18:36 ion_beam_tube_1mev_9a_v6

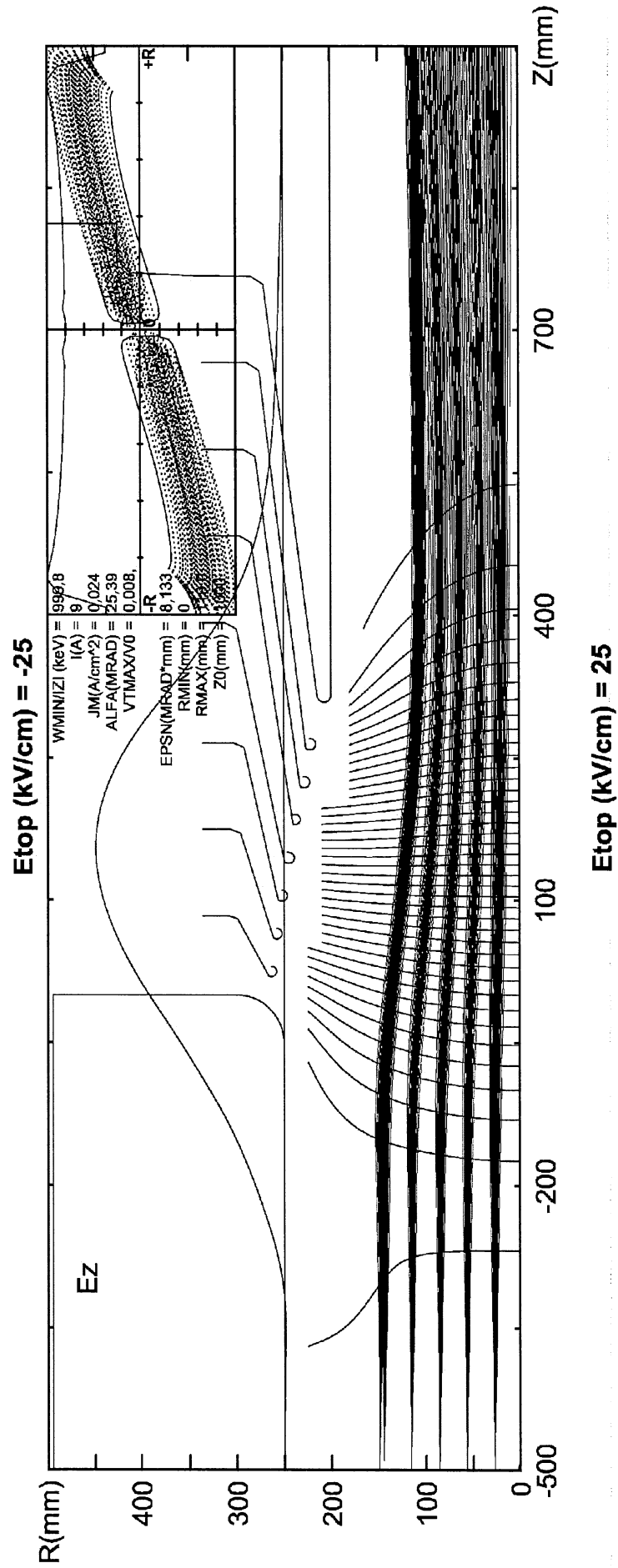


FIG.13

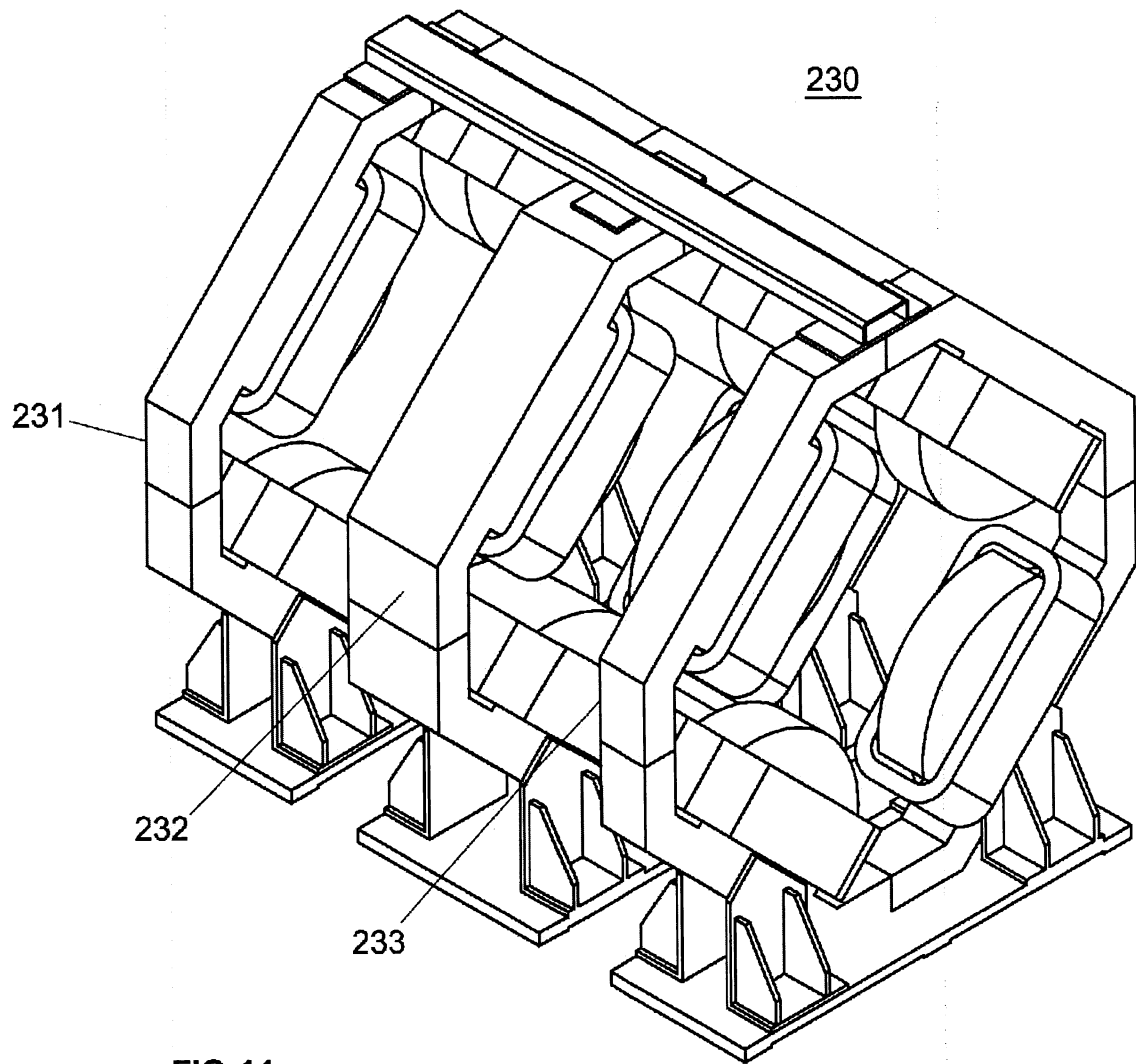


FIG. 14

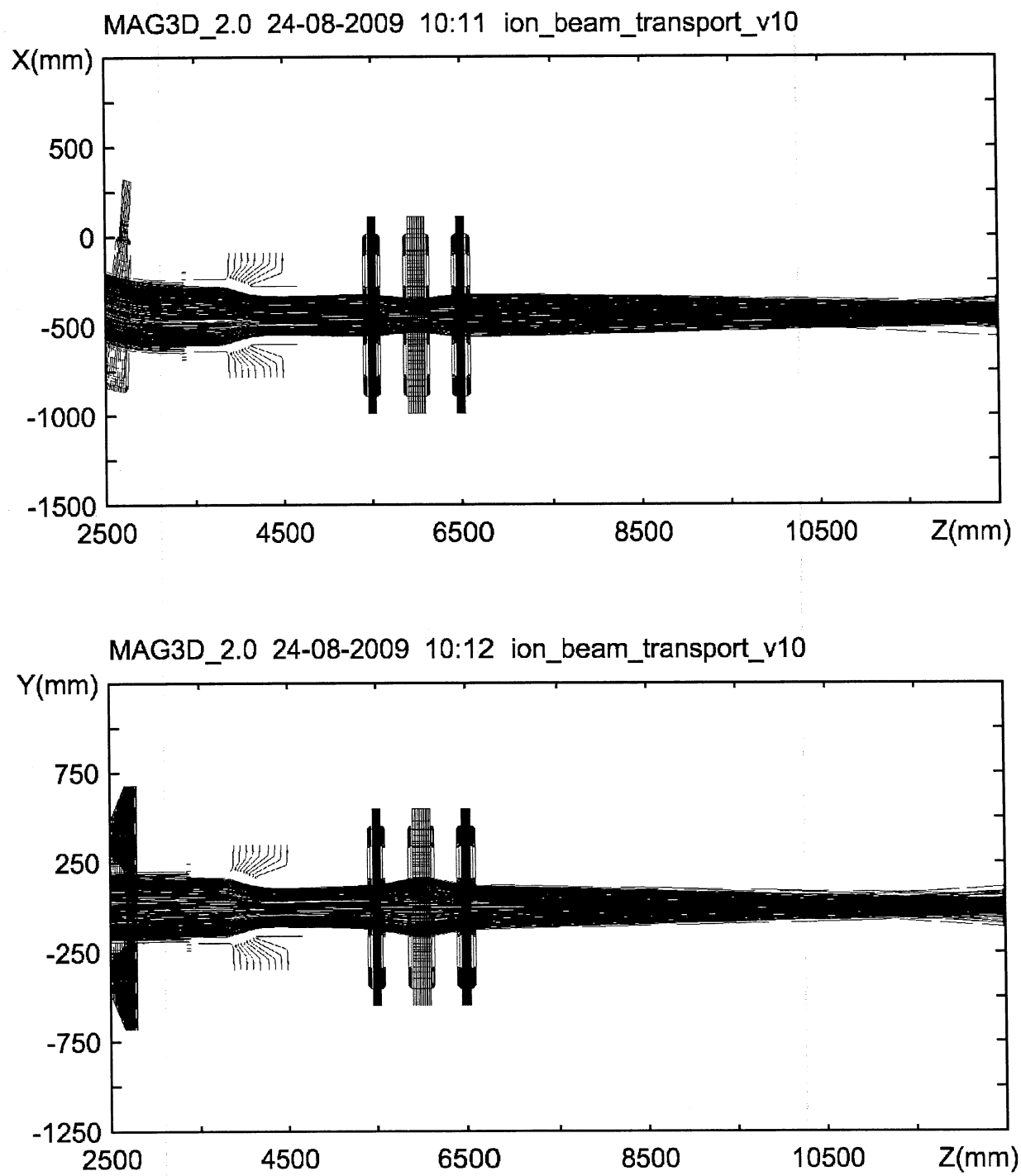
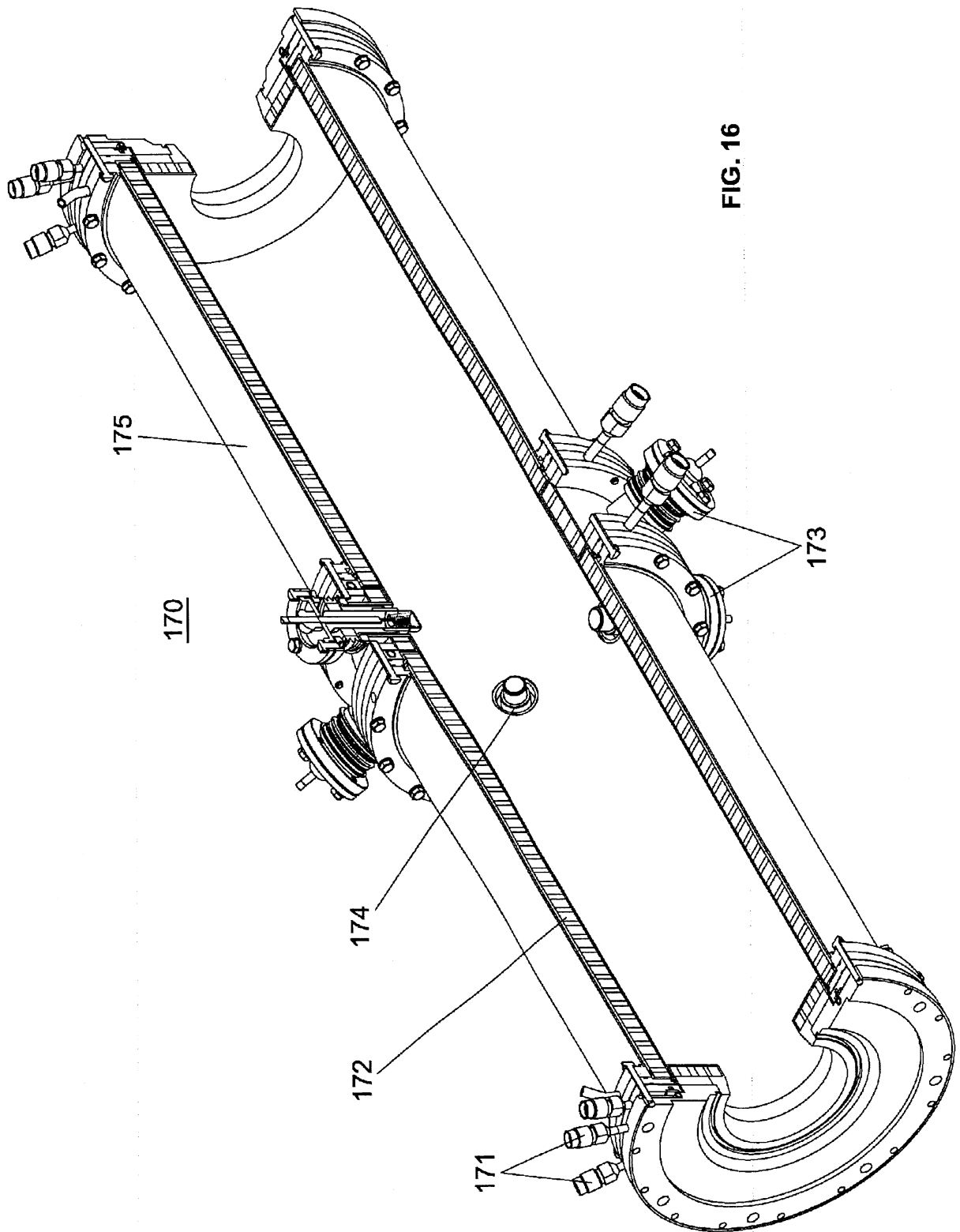


FIG.15



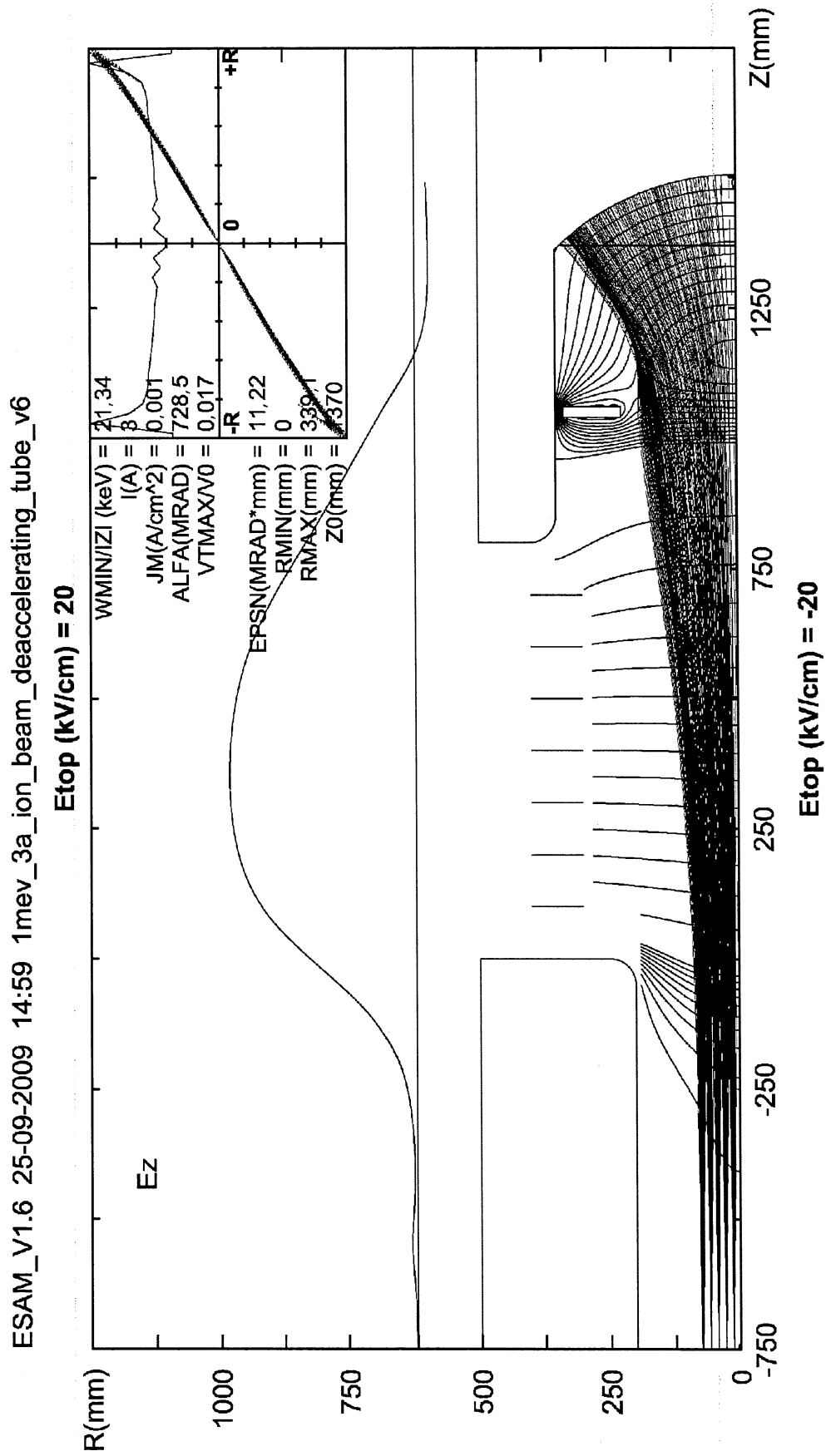


FIG.17