

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국



(43) 국제공개일
2011년 2월 24일 (24.02.2011)

PCT

(10) 국제공개번호
WO 2011/021802 A2

- (51) 국제특허분류:
H01J 23/06 (2006.01) *H01J 23/20* (2006.01)
- (21) 국제출원번호: PCT/KR2010/005236
- (22) 국제출원일: 2010년 8월 10일 (10.08.2010)
- (25) 출원언어: 한국어
- (26) 공개언어: 한국어
- (30) 우선권정보:
10-2009-0077796 2009년 8월 21일 (21.08.2009) KR
- (71) 출원인 (US 을(를) 제외한 모든 지정국에 대하여): **포항공과대학교 산학협력단 (POSTECH ACADEMY-INDUSTRY FOUNDATION)** [KR/KR]; 경상북도 포항시 남구 효자동 산 31, 790-784 Gyeongsangbuk-do (KR).
- (72) 발명자: **김**
- (75) 발명자/출원인 (US 에 한하여): **박용운 (PARK, Yong Woon)** [KR/KR]; 전라남도 장흥군 대덕읍 분토리, 529-903 Jeollanam-do (KR). **박성주 (PARK, Sung Ju)** [KR/KR]; 경상북도 포항시 남구 지곡동 그린빌라 337 동 305 호, 790-751 Gyeongsangbuk-do (KR). **고인수 (KO, In Soo)** [KR/KR]; 경상북도 포항시 남구 지곡동 교수아파트 9 동 1001 호, 790-751 Gyeongsangbuk-

do (KR). **김창범 (KIM, Chang Bum)** [KR/KR]; 경상북도 포항시 남구 이동 대우아파트 104 동 904 호, 790-730 Gyeongsangbuk-do (KR). **홍주호 (HONG, Ju Ho)** [KR/KR]; 경상북도 포항시 남구 지곡동 756 번지 포항공대 대학원아파트 4 동 1505 호, 790-390 Gyeongsangbuk-do (KR). **문성익 (MOON, Sung Ik)** [KR/KR]; 경상북도 포항시 남구 효자동 포항공대 기숙사 19 동 113 호, 790-784 Gyeongsangbuk-do (KR).

(74) 대리인: **양문옥 (YANG, Moon Ock)**; 서울 강남구 역삼동 735-10 삼흥역삼빌딩 2층 에센특허법률사무소, 135-080 Seoul (KR).

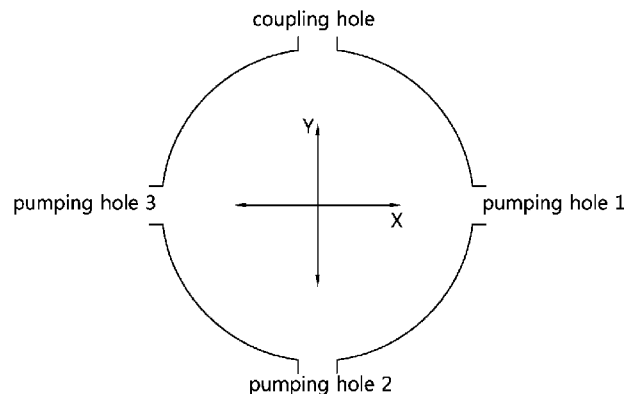
(81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[다음 쪽 계속]

(54) Title: ELECTRON BEAM GENERATING APPARATUS

(54) 발명의 명칭 : 전자빔 발생장치

[Fig. 7]



(57) Abstract: The present invention relates to an electron beam generating apparatus capable of reducing the emittance of an electron beam. For this purpose, the electron beam generating apparatus according to the present invention comprises: a housing having a rear surface portion for generating an electron beam, a front surface portion having an electron beam emitting hole for emitting the generated electron beam to the outside, and a side surface portion for interconnecting the rear surface portion and the front surface portion, wherein the side surface portion has a first hole, and the opposite side surface portion facing said side surface with the first hole has a second hole to reduce an electric field imbalance caused by the first hole; and a waveguide arranged at the side surface portion to supply electromagnetic waves into the housing through the first hole. The laser beam applied into the housing generates an electron beam, and the thus-generated electron beam is accelerated by the electromagnetic waves supplied into the housing.

(57) 요약서:

[다음 쪽 계속]



(84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM,

TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

공개:

- 국제조사보고서 없이 공개하며 보고서 접수 후 이를 별도 공개함 (규칙 48.2(g))

본 발명은 전자빔의 에미턴스를 감소시킬 수 있는 전자빔 발생장치에 대한 것이다. 이를 위하여 본 발명에 따른 전자빔 발생장치는, 전자빔이 생성되는 후면부와, 생성된 전자빔이 외부로 배출되도록 전자빔배출홀이 형성된 전면부와, 후면부와 전면부를 연결하는 측면부를 포함하며, 측면부에는 제 1 홀이 형성되고, 제 1 홀에 의하여 유발되는 전기장 불균형을 감소시키도록 제 1 홀과 마주보는 반대편 측면부에 제 2 홀이 형성된 하우징 및 제 1 홀을 통하여 하우징 내부로 전자기파를 공급하도록 측면부에 설치되는 웨이브가이드를 포함하며, 하우징 내부로 입사된 레이저에 의하여 전자빔이 생성되고 하우징 내부로 공급된 전자기파에 의하여 전자빔이 가속된다.

명세서

발명의 명칭: 전자빔 발생장치

기술분야

- [1] 본 발명은 레이저를 이용하여 전자빔을 발생시키는 전자빔 발생장치에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 일반적으로 전자총(electron gun)이란 전자현미경, 진행파관, 브라운관 등과 같이 전자의 흐름을 가늘게 빔 모양으로 수렴시켜서 배출하는 장치를 말한다.
- [3] 종래 기술에 의한 전자총은 커플러 셀(coupler cell) 내부를 통과하는 전자빔을 가속하기 위하여 전자기파를 이용한다. 즉, 커플러 셀에 형성된 커플링홀(coupling hole)을 통하여 전자기파를 커플러 셀 내부로 입사시킨다. 그러나, 이러한 커플링홀로 인하여 커플러 셀 내부 전기장의 대칭성이 깨지게 된다. 전기장의 대칭성이 깨지게 되면 전자빔의 에미턴스(emittance)가 커지게 되면서 전자빔의 품질이 저하되는 문제가 있다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [4] 전자빔의 에미턴스를 감소시킬 수 있는 전자빔 발생장치가 요구된다.
- [5] 본 발명의 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 당업자가 명확하게 이해할 수 있을 것이다.

과제 해결 수단

- [6] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명에 따른 전자빔 발생장치는, 전자빔이 생성되는 후면부와, 생성된 상기 전자빔이 외부로 배출되도록 전자빔배출홀이 형성된 전면부와, 상기 후면부와 상기 전면부를 연결하는 측면부를 포함하며, 상기 측면부에는 제1홀이 형성되고, 상기 제1홀에 의하여 유발되는 전기장 불균형을 감소시키도록 상기 제1홀과 마주보는 반대편 측면부에 제2홀이 형성된 하우징; 및 상기 제1홀을 통하여 상기 하우징 내부로 전자기파를 공급하도록 상기 측면부에 설치되는 웨이브가이드;를 포함하며, 상기 하우징 내부로 입사된 레이저에 의하여 상기 전자빔이 생성되고 상기 하우징 내부로 공급된 전자기파에 의하여 상기 전자빔이 가속된다.
- [7] 또한, 상기 전면부를 통하여 레이저가 상기 하우징 내부로 입사될 수 있다.
- [8] 또한, 상기 제2홀을 통하여 상기 하우징 내부의 공기를 배출함으로써 상기 하우징 내부에 진공을 형성할 수 있도록 상기 측면부에 설치되는 제1펌핑포트를 더 포함할 수 있다.
- [9] 또한, 상기 제2홀은 상기 제1홀과 형상이 상이할 수 있다.
- [10] 또한, 상기 제2홀은 일측 방향으로 연장된 홀의 형상으로 형성될 수 있다.

- [11] 또한, 상기 제2홀은 실질적으로 타원형 또는 경기장(racetrack)형태로 형성될 수 있다.
- [12] 또한, 상기 측면부는 제1측면부와 제2측면부를 포함하며, 상기 전면부는 상기 제1측면부에 결합되고, 상기 제1측면부와 상기 제2측면부는 연결부에 의하여 연결되며, 상기 제2측면부는 상기 후면부에 결합되고, 상기 제1홀 및 상기 제2홀은 상기 제1하우징 또는 상기 제2하우징에 형성될 수 있다.
- [13] 또한, 상기 하우징에는 레이저가 상기 하우징 내부로 입사되는 입사홀과, 상기 하우징 내부에서 반사된 레이저가 배출되는 배출홀이 형성될 수 있다.
- [14] 또한, 상기 전자빔배출홀을 통하여 레이저가 입사되고, 상기 후면부에서 반사된 레이저가 상기 전자빔배출홀을 통하여 배출될 수 있다.
- [15] 또한, 상기 제1홀에 의하여 유발되는 전기장 불균형을 감소시키도록 상기 하우징의 상기 측면부에서 상기 제1홀과 상기 제2홀의 가운데에 제3홀이 형성되며, 상기 제3홀과 마주보는 반대편 측면부에 제4홀이 형성될 수 있다.
- [16] 또한, 상기 제3홀과 상기 제4홀은 일측 방향으로 연장된 홀의 형상으로 형성될 수 있다.
- [17] 또한, 상기 제3홀과 상기 제4홀은 실질적으로 타원형 또는 경기장(racetrack)형태로 형성될 수 있다.
- [18] 또한, 상기 제2 내지 제4홀은 동일 형상으로 마련될 수 있다.
- [19] 또한, 상기 제3홀이 형성된 위치에 제2펌핑포트가 설치되고, 상기 제4홀이 형성된 위치에 제3펌핑포트가 설치될 수 있다.

발명의 효과

- [20] 전기장의 불균형을 개선하여 전자빔의 에미턴스를 감소시키는 효과가 있다.
- [21] 또한, 별도의 복잡한 부가장치 없이 단순한 홀 치수의 변경이나 펌핑홀의 추가만으로도 전기장의 에미턴스를 감소시킬 수 있어서 비용절감 효과가 있다.
- [22] 종래의 전자빔 발생장치에 있어서 하우징의 측면부에 레이저입사홀과 레이저배출홀을 별도로 마련하는 경우가 있으나, 본 발명은 하우징의 정면부에 하나의 홀만을 뚫어서 레이저빔을 입사 및 배출시키고, 동시에 전자빔 배출홀로 이용할 수 있어서 제작이 용이하게 되는 효과가 있다.
- [23] 본 발명의 기술적 효과는 이상에서 언급한 효과로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 기술적 효과들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

- [24] 도 1은 커플링홀이 없는 이상적인 조건에서의 하우징을 개략적으로 표현한 단면도이며, 도 2는 커플링홀이 없는 이상적인 조건에서의 하우징의 전기장을 나타낸 그래프이다.
- [25] 도 3은 하나의 커플링홀이 형성된 하우징을 개략적으로 표현한 단면도이며, 도 4는 하나의 커플링홀이 형성된 하우징의 전기장을 나타낸 그래프이다.

- [26] 도 5는 커플링홀과 하나의 펌핑홀이 형성된 하우징을 개략적으로 표현한 단면도이며, 도 6은 커플링홀과 하나의 펌핑홀이 형성된 하우징의 전기장을 나타낸 그래프이다.
- [27] 도 7은 커플링홀과 3개의 펌핑홀이 형성된 하우징을 개략적으로 표현한 단면도이며, 도 8은 커플링홀과 3개의 펌핑홀이 형성된 하우징의 전기장을 나타낸 그래프이다.
- [28] 도 9는 본 실시예에 따른 전자빔 발생장치의 시뮬레이션 장치의 배치도이다.
- [29] 도 10은 제1실시예에 따른 전자빔 발생장치의 사시도이다.
- [30] 도 11은 제1실시예에 따른 전자빔 발생장치를 x축에 대하여 수직으로 절단한 단면도이다.
- [31] 도 12는 제1실시예에 따른 전자빔 발생장치를 z축에 수직으로 절단한 단면사시도이다.
- [32] 도 13은 제1실시예에 따른 전자빔 발생장치의 펌핑홀의 형태를 나타낸 도면이다.
- [33] 도 14는 제1실시예에 따른 전자빔 발생장치의 L1과 푸리에계수와의 관계를 나타낸 도면이다.
- [34] 도 15는 제2실시예에 따른 전자빔 발생장치의 사시도이다.
- [35] 도 16은 제2실시예에 따른 전자빔 발생장치를 x축에 수직으로 절단한 측단면도이다.
- [36] 도 17은 제2실시예에 따른 전자빔 발생장치를 z축에 수직으로 절단한 측단면도이다.
- [37] 도 18은 제2실시예에 따른 전자빔 발생장치를 z축에 수직으로 절단한 단면사시도이다.
- [38] 도 19는 제2실시예에 따른 전자빔 발생장치에서의 L2와 푸리에계수와의 관계를 나타낸 도면이다.
- [39] 도 20은 제1실시예 및 제2실시예에 있어서 전기장의 각도 분포를 나타내는 도면이다.
- [40] 도 21은 제2실시예에 있어서 z축에 대한 y축방향의 표준화 에미턴스에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸 도면이다.

발명의 실시를 위한 최선의 형태

- [41] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다. 그러나 본 실시예는 이하에서 개시되는 실시예에 한정되는 것이 아니라 서로 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시예는 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이다. 도면에서의 요소의 형상 등은 보다 명확한 설명을 위하여 과장되게 표현된 부분이 있을 수 있으며, 도면상에서 동일 부호로 표시된 요소는 동일 요소를 의미한다.

[42] 강력하면서도 동시에 작은 에미턴스(emittance)를 가지는 전자빔 발생장치가 필요하다. 에미턴스 ϵ 는 세 가지 요소를 가지며 수학식 1과 같이 표현할 수 있다.

[43] 수학식 1

$$\epsilon = \sqrt{\epsilon_{th}^2 + \epsilon_{sc}^2 + \epsilon_{rf}^2}$$

[44] 여기서

$$\epsilon_{th}$$

는 열적 에미턴스(thermal emittance)이며,

$$\epsilon_{sc}$$

는 공간 하전 효과(space charge effect)에 의한 에미턴스이고,

$$\epsilon_{rf}$$

는 고주파 동역학 효과(rf dynamics effect)에 의한 에미턴스이다.

[45] ϵ_{th}

는 캐소드 면(cathode surface)에 대한 레이저의 입사각을 제어함으로써 감소될 수 있다. 전체 에미턴스(ϵ)는 열적 에미턴스에 비하여 매우 높게 나타난다.

이것은 공간 하전 효과와 고주파 동역학 효과에 의한 에미턴스 증가가 열적 에미턴스에 비하여 무시할 수 없는 정도이기 때문이다.

$$\epsilon_{sc}$$

는 특수한 3D 균일 타원 레이저 펄스(uniform ellipsoidal laser pulse)와 매우 강한 전기장을 이용하여 감소시킬 수 있다. 본 발명의 주된 관심사는 전체 에미턴스를 감소시키기 위하여 어떻게 하면 세 번째 요소인

$$\epsilon_{rf}$$

를 감소시킬 수 있는가에 대한 것이다.

[46] 도 1은 커플링홀이 없는 이상적인 조건에서의 하우징을 개략적으로 표현한 단면도이며, 도 2는 커플링홀이 없는 이상적인 조건에서의 하우징의 전기장을 나타낸 그래프이다.

[47] 도 1에서 지면에 수직방향은 전자빔의 진행방향이며, 원형 테두리는 하우징을 나타낸다. x축과 y축은 하우징 내부의 공진공동(resonant cavity)의 중심을 기준으로 한 직교좌표축을 나타낸다. ρ 는 공진공동의 중심으로부터 임의의 위치 T까지의 거리를, Φ 는 공진공동의 중심과 좌표 T를 연결하는 직선이 x축에 대하여 이루는 각도를 의미한다. 도 2에서의

$$|E_z|$$

는 공진공동의 중심으로부터 소정거리에서의 전기장을 나타낸다. 전자빔 발생장치의 공진공동에 발생하는 전기장은 일반적으로 수학식 2와 같이 표현될

수 있다.

[48] 수학식 2

$$\begin{aligned}
 |E_z(\rho, \phi)| &= \sum_{m=0}^{\infty} A_{m10} T M_{m10} \\
 &= E_0 \sum_{m=0}^{\infty} A_{m10} J_m\left(\frac{r_{m1}\rho}{R}\right) \cos m\phi \\
 &= E_0 \left[A_{010} J_0\left(\frac{r_{01}\rho}{R}\right) + A_{110} J_1\left(\frac{r_{11}\rho}{R}\right) \cos \phi + A_{210} J_2\left(\frac{r_{21}\rho}{R}\right) \cos 2\phi + \dots \right] \\
 &\approx E_0 A_{010} + E_0 \frac{A_{110} r_{11}}{2R} \rho \cos(\phi) + E_0 \frac{A_{210} r_{21}^2}{8R^2} \rho^2 \cos(2\phi) + \dots (\because \rho < R)
 \end{aligned}$$

[49]

[50] 여기에서,

$$r_{m1}$$

은

$$J_m(x) = 0$$

의 첫 번째 근이고,

$$E_0$$

는 최대 전기장을, R은 공진공동의 반경을,

$$A_{m10}$$

는 m번째 푸리에 계수를 나타낸다. 이상적인 전자빔 발생장치에서의

$$|E_z|$$

는 도 2에서 보듯이, monopole field만이 존재하며, 각도 Φ 가 변하더라도 일정한 값을 가진다.

[51] 그러나, 전자빔 발생장치에서는 전자빔 가속에 필요한 고주파 전력을 공급하기 위하여 하우징의 측면에 커플링홀을 형성할 수 밖에 없다. 커플링홀은 공진공동 내부에서 측방향(x-y 평면 방향)의 힘을 유발할 수 있으며 이에 따라 전기장의 비대칭성이 발생할 수 있다. 전기장의 비대칭성(asymmetry of electric field)은 multipole field에서 증가할 수 있으며, multipole field는 전자빔 발생장치에서 발생하는 전자빔에 대하여 에미턴스를 증가시키는 횡방향 모멘텀 킥(transverse momentum kick)을 발생시킨다.

[52] Panofsky-Wenzel 정리는 수학식 3과 같이 공진공동의 전기장에서 횡방향 모멘텀 킥

$$p_{\perp}$$

을 제공한다.

[53] 수학식 3

$$p_{\perp} = \left(\frac{e}{\omega_0} \right) \int_0^L (-i) \nabla_{\perp} E_z dz$$

[54]

[55] 여기서

$$\omega_0$$

는 공동의 공진 주파수(resonant frequency)이며, L은 공진공동의 길이이고,

$$E_z$$

는 공진공동의 전기장의 길이방향 요소(longitudinal component)이다.

Panofsky-Wenzel 정리는 일정 속도 상황(constant velocity case)에 적용가능하다.

운동에너지의 증가에도 불구하고 공진공동 내부에서는 전자의 속도가 미량만

증가하기 때문에 본 실시예에서는 공진공동 영역이 이러한 조건을 만족한다.

수학식 3에서의 횡방향 모멘텀 킥은 아래에서 기술하는 바와 같이 전체

에미턴스의 증가량을 나타낸다.

[56]

공진공동의 비대칭 형태는 multipole field를 야기시킨다. 일반적으로, 공진공동은 유한한 퀄리티 팩터(quality factor)를 가지기 때문에 공진공동 내부에는 전력흐름이 있다. 그래서, 이러한 multipole field는 y축을 따라 진행되는 진행파(traveling wave)를 포함한다. 진행파 성분에 기인하는 y축 방향 multipole field의 위상 불균형(phase asymmetry)은 공진공동의 전기장 분석에 있어서 고려되어야 한다. 공진공동에서의 전기장은 수학식 4와 같이 multipole field의 중첩(superposition)으로 표현될 수 있다.

[57]

수학식 4

$$E_z = E_0 \sin(\omega t - K_y y) \times \sum_{n=0}^{\infty} a_n r^n \cos n\varphi$$

[58]

여기서,

$$E_0$$

는 전기장의 최대값,

$$K_y$$

는 y축 방향의 위상 분포 계수(phase distribution coefficient),

$$a_n$$

은 multipole field의 푸리에 계수, ω 는 공동(cavity)의 공진주파수이다. multipole field에 의한 에미턴스 증가(emittance growth)는 수학식 4의 푸리에 계수에 의하여 계산될 수 있다.

[59]

monopole component에 의한 에미턴스는 다음과 같이 계산될 수 있다.

[60]

수학식 5

$$\varepsilon_{n,rms}^{monopole} = \sqrt{\frac{13}{20}} \frac{eE_0}{2m_e c^2} \sigma_y^2 (k\sigma_z)^2$$

[61]

[62] 여기서, k는 고주파 전기장의 파동의 차수(wavenumber of the rf field),

$$\sigma_y$$

는 빔 크기,

$$\sigma_z$$

는 실효 다발 길이(rms bunch length)이다. 공동의 기하학적 중심과 전기장의 중심 사이에는 편차, 소위 dipole offset

$$y_0$$

이 존재한다. dipole field에 의한 횡방향 모멘텀 킥은 dipole offset에 의존한다. 위상 불균형(phase asymmetry)에 의한 dipole offset oscillation은 Guan에 의하여 수학적식 6과 같이 유도되었다.

[63]

수학적식 6

$$y_0 \approx -\frac{a_1}{2a_2} + \frac{a_0 K_y}{2a_2} \text{ctg}(\omega t)$$

[64]

[65] Guan은 standing wave type의 고주파 전자총 내부에서의 전력흐름이 매우 미미하기 때문에 수학적식 6의

$$K_y$$

가 무시될 수 있음을 증명했다. 그래서, 수학적식 6의 크기 성분(amplitude term)은 multipole field에 의한 에미턴스 증가를 계산함에 있어서 충분하다. Palmer의 연구결과에 따라, dipole field와 quadrupole field에 의한 에미턴스 증가는 다음과 같이 계산된다.

[66]

수학적식 7

$$\varepsilon_{n,rms}^{dipole} = \frac{eE_0 L}{m_e c^2 \pi} \times a_1 \sigma_y \sigma_z$$

[67]

수학적식 8

$$\varepsilon_{n,rms}^{quadrupole} = \frac{eE_0 L}{m_e c^2 \pi} \times 2a_2 \sigma_y^2 \sigma_z$$

[68]

여기서, L은 불균형 고주파 전기장이 존재하는 공진공동의 길이이다.

[69]

이하에서는 dipole field와 quadrupole field에 의한 에미턴스 증가를 다른

방식으로 표현해 본다. 공진공동에 하나의 커플링홀이 형성된 경우에

$$E_z$$

의 크기는 수학식 9와 같이 표현할 수 있다.

[70] 수학식 9

$$|E_z(\phi)| = ME_0 + DE_0r \cos(\phi) + QE_0r^2 \cos(2\phi) + \dots$$

[71]

[72] 수학식 9에서 첫 번째 항은 monopole field, 두 번째 항은 dipole field, 세 번째 항은 quadrupole field를 의미한다. 수학식 9에서 normalized fourier coefficient인 M, D, Q는 수학식 10과 같이 표현할 수 있다.

[73] 수학식 10

$$M = \left| \frac{A_{010}}{A_{010}} \right| = 1, \quad D = \left| \frac{A_{110}x_{11}}{A_{010}2R} \right|, \quad Q = \left| \frac{A_{210}x_{21}^2}{A_{010}8R^2} \right|$$

[74] 수학식 11

$$\varepsilon_{RF} = \sqrt{\varepsilon_M^2 + \varepsilon_D^2 + \varepsilon_Q^2}$$

[75] 수학식 11은 전자빔 발생장치에서 monopole field, dipole field, quadrupole field가

$$\varepsilon_{RF}$$

에 미치는 영향을 나타낸다.

$$\varepsilon_M$$

는 monopole field에 의하여 생기는 에미턴스(emittance)를,

$$\varepsilon_D$$

는 dipole field에 의하여 생기는 에미턴스를,

$$\varepsilon_Q$$

는 quadrupole field에 의하여 생기는 에미턴스를 나타낸다.

$$\varepsilon_M$$

,

$$\varepsilon_D$$

,

$$\varepsilon_Q$$

의 값은 수학식 12에 의하여 계산할 수 있다.

[76] 수학식 12

$$\varepsilon_M = M \sqrt{\frac{13}{20} \frac{eE_0}{2m_e c^2} \sigma_y^2 (k\sigma_z)^2}$$

[77]

$$\varepsilon_D = D \frac{eE_0L}{2m_e c^2 \pi} \sigma_y \sigma_z$$

$$\varepsilon_Q = Q \frac{eE_0L}{2m_e c^2 \pi} 2\sigma_y^2 \sigma_z$$

[79] 수학식 12에서, e 는 전자의 전하량,

m_e

는 전자의 질량, c 는 광속, k 는 파수,

σ_y

는 y 축 방향의 전자빔 크기,

σ_z

는 z 축 방향의 전자빔 크기, L 은 공진공동의 길이이다.

ε_{RF}

의 값을 감소시키기 위해서는 전자빔 가속에 반드시 필요한 monopole field를 제외한 dipole field와 quadrupole field를 제거하는 것이 필요하다.

[80] 도 3은 하나의 커플링홀이 형성된 하우징을 개략적으로 표현한 단면도이며, 도 4는 하나의 커플링홀이 형성된 하우징의 전기장을 나타낸 그래프이다.

[81] 도 4와 관련, X 표시는

$|E_z|$

의 시뮬레이션 결과값이며, 커플링홀에 의하여 발생하는 dipole field를 의미한다. 이 값은 수학식 9의 첫 번째, 두 번째 항 및 세 번째 항의 값만을 이용하여 얻은 결과값이다. 도 4에서 보듯이, 커플링홀이 형성된 방향으로 상대적으로 매우 강한 전기장이 형성된다는 것을 알 수 있다.

[82] monopole field, dipole field, quadrupole field에 비하여 그 이상의 high order field는 무시할 수 있을 정도로 영향이 작기 때문에 dipole field와 quadrupole field의 영향을 제거하는 것이 고품질의 전자빔 발생장치를 제작하는데 매우 중요하다. 이하에서는 펌핑홀을 추가로 하우징에 형성함으로써 dipole field와 quadrupole field를 제거하는 방법을 설명한다.

[83] 도 5는 커플링홀과 하나의 펌핑홀이 형성된 하우징을 개략적으로 표현한 단면도이며, 도 6은 커플링홀과 하나의 펌핑홀이 형성된 하우징의 전기장을 나타낸 그래프이다.

[84] 도 5에서 보듯이, 하우징의 상부에는 전자기파가 공급되는 커플링홀이 형성되며, 하우징의 하부에는 펌핑홀이 형성되어 있다. 펌핑홀은 커플링홀에 의하여 발생하는 dipole field에 대하여 위상이 180도 차이가 있는 dipole field를 발생시키기 위함이다. 이에 따라, 펌핑홀에 의하여 발생하는 dipole field를 이용하여 커플링홀에 의하여 발생하는 dipole field를 상쇄시킬 수 있다.

- [85] 펄핑홀의 형태와 크기는 일반적으로 커플링홀과 동일하게 제작된다. 그러나, 펄핑홀과 커플링홀 각각의 경계 조건(boundary condition)이 다르기 때문에 dipole field의 감소량은 불충분할 수 있다. 한편, 펄핑홀의 치수(dimension)를 변화시키는 단순한 방법에 의하여 dipole field를 감소시킬 수 있다. 다만, 이러한 dipole field를 감소시키는 방법은 quadrupole field에 영향을 미치지 않는다. 결국, quadrupole field를 제거하기 위해서는 추가적인 제거 과정이 필요한 것이다.
- [86] quadrupole field를 제거하기 위하여 펄핑홀의 형태를 경기장 형태(racetrack shape)로 형성하는 방법이 있다. racetrack 형태의 홀은 quadrupole field를 감소시킬 수 있다.
- [87] 도 6에서 보듯이, 커플링홀에 의하여 형성된 dipole field 및 펄핑홀에 의해 형성된 dipole field의 값이 도시되어 있다. 펄핑홀에 의하여 발생하는 dipole field와 커플링홀에 의하여 발생하는 dipole field가 결합되면 dipole field 성분이 상쇄되면서 quadrupole field가 주성분인 quadrupole dominant field가 남게 된다. dipole field 성분이 제거됨에 따라 도 4의 결과값과 비교하여 에미턴스가 현격하게 감소됨을 알 수 있다. 다음으로 하우징에 두 개의 추가적인 펄핑홀을 형성하여 quadrupole field를 제거하는 방법을 설명한다.
- [88] 도 7은 커플링홀과 3개의 펄핑홀이 형성된 하우징을 개략적으로 표현한 단면도이며, 도 8은 커플링홀과 3개의 펄핑홀이 형성된 하우징의 전기장을 나타낸 그래프이다.
- [89] 도 7에서 보듯이, 하우징의 상부에 커플링홀이 형성되고, 하우징의 하부에 제1펄핑홀 및 좌우측에 각각 제2펄핑홀, 제3펄핑홀이 형성되어 있다.
- [90] 도 8에서 보듯이, 커플링홀에 의하여 형성된 dipole field 및 제1, 제2, 제3펄핑홀에 의해 형성된 dipole field의 값이 표시되어 있다. 제1, 제2, 제3펄핑홀에 의하여 발생하는 dipole field와 커플링홀에 의하여 발생하는 dipole field가 결합되면서 dipole field 및 quadrupole field가 상쇄된다. 이에 따라 octopole field가 주성분이 되는 octopole dominant field만이 남게 된다. dipole field 및 quadrupole field가 제거됨에 따라 도 4의 결과값과 비교하여 에미턴스가 현격하게 감소됨을 알 수 있다.
- [91] 도 9는 본 실시예에 따른 전자빔 발생장치의 시뮬레이션 장치의 배치도이다.
- [92] 도 9에 도시된 바와 같이, 전자빔 발생장치(100)에서 전자빔을 배출시키며, 배출된 전자빔은 통로(400)를 지나면서 외측의 솔레노이드(300)에 의하여 집중이 되고, 가속컬럼(accelerating column)을 통과하면서 가속된다. 공간 하전에 의한 에미턴스 증가를 제거하기 위하여 솔레노이드(300)와 부스터 리니어 엑셀러레이터(booster linac)가 사용된다. 이러한 시뮬레이션 조건하에서 공진공동의 multipole field로부터의 에미턴스 증가는 수학시뮬레이션 프로그램 PARMELA에 의하여 계산할 수 있다.
- [93] 도 10은 제1실시예에 따른 전자빔 발생장치의 사시도이다.

- [94] 도 11은 제1실시예에 따른 전자빔 발생장치를 x축에 대하여 수직으로 절단한 단면도이다.
- [95] 도 12는 제1실시예에 따른 전자빔 발생장치를 z축에 수직으로 절단한 단면사시도이다.
- [96] 도 10에 도시된 바와 같이, 본 실시예는 제1하우징(140)과, 제2하우징(120)과, 웨이브가이드(110)와, 펌핑포트(160)와, 전자빔배출관(150)을 포함한다. 이하에서, 전자빔의 진행방향을 z축으로 설명한다.
- [97] 도 11에 도시된 바와 같이, 제2하우징(120)은 원통형상으로 마련되어 있으며, 전극(121), 원판(124), 측벽(122)을 포함한다. 전극(121)은 도 11을 기준으로 제2하우징(120)의 우측면에 해당한다. 전극(121)은 입사된 레이저빔이 충돌하여 전자빔이 발생하는 부분이다. 전극(121)에서 좌측으로 소정 거리 이격되어 마주보는 원판(124)이 마련되며, 상기 전극(121)과 원판(124)을 연결하는 측벽(122)이 마련된다. 내측에는 제2공진공동(123)이 마련된다. 연결부(130)는 곡면부(131)와 연결공동(132)을 포함한다. 곡면부(131)는 단면이 반원형인 고리형상으로 마련되며 일측이 원판(124)에 결합되고 타측이 원판(141)에 결합된다. 연결공동(132)은 제1공진공동(144)과 제2공진공동(123)을 연결하는 공간이다.
- [98] 제1하우징(140)은 원판(141), 원판(143), 측벽(142)을 포함한다. 원판(141)은 곡면부(131)와 연결되며, 원판(143)은 상기 원판(141)과 마주보면서 도 11을 기준으로 좌측에 위치하고, 측벽(142)은 원판(141)과 원판(143)을 연결한다. 내측에는 제1공진공동(144)이 마련된다. 제1하우징(140)과 제2하우징(120)으로 구성하지 않고 하나의 원통형 하우징으로 구성할 수도 있다.
- [99] 웨이브가이드(110)는 측벽(111), 바닥판(113)을 포함한다. 측벽(111)은 사각형의 상자 형상으로 마련될 수 있으며, 하면에 바닥판(113)이 연결된다. 내측에는 전자기파발생부(미도시)에서 발생된 전자기파를 제1공진공동(144)으로 전달하기 위하여 전자기파공동(112)이 마련된다. 바닥판(113)에는 상기 전자기파공동(112)과 제1공진공동(144)을 연통시키도록 커플링홀(114)이 마련되며, 이것은 고주파 전력을 공진공동에 제공하기 위함이다. 커플링홀(114)은 제1공진공동(144)에 고주파 불균형을 야기시키며, 또한 전기장 불균형을 야기시킬 수 있다.
- [100] 제1펌핑포트(160)는 측벽(161), 바닥판(164)을 포함한다. 측벽(161)의 내측에는 제1펌핑공동(163)이 마련된다. 제1펌핑공동(163)은 제1공진공동(144)의 진공도를 유지하기 위하여 진공배기를 위한 공간으로서 진공펌프(미도시)와 연결되는 부분이다. 바닥판(164)에는 제1공진공동(144)과 제1펌핑공동(163)을 연통시키는 제1펌핑홀(165)이 마련된다. 제1펌핑포트(160)의 제1펌핑홀(165)의 조정을 통하여 2 주기 성분을 제거할 수 있다.
- [101] 전자빔배출관(150)은 측벽(151)을 포함한다. 측벽(151)은 일측이 방사형으로 부드러운 곡면으로 확장되면서 원판(143)에 결합되며, 타측에는 전자빔이

배출되도록 홀(154)이 마련된다. 홀(154)을 통하여 레이저빔이 내측으로 z축에 대하여 비스듬하게 입사되며, 상기 레이저빔에 의하여 발생된 전자빔이 홀(154)을 통하여 배출될 수 있다. 즉, 상기 홀(154)은 레이저빔이 입사되는 입사홀과 반사되는 레이저빔이 배출되는 배출홀, 및 전자빔이 배출되는 전자빔배출홀의 기능을 동시에 할 수 있다.

[102] 다른 실시예로서 홀(154)이 1 개가 아니라 3개로 마련될 수 있다. 이 경우에는 전자빔배출관(150), 제1하우징(140) 또는 제2하우징(120)의 측면부에 하나의 홀은 레이저빔이 입사되는 입사홀, 다른 하나의 홀은 레이저빔이 반사되어 배출되는 배출홀, 나머지 홀은 전자빔이 배출되는 전자빔배출홀로서 마련될 수도 있다.

[103] 도 12에서 전자빔은 Z축방향으로 진행한다. 에미턴스의 빔 동역학 계산에 사용된 필드 맵은 3D 고주파 계산기로 생성한 것이다.

[104] 도 13은 제1실시예에 따른 전자빔 발생장치의 펌핑홀의 형태를 나타낸 도면이다.

[105] 도 13에서 보듯이, 제1펌핑홀(165)의 장축 길이(W)와 단축 길이(H)의 차이가 L1이다. R1은 제1펌핑홀(165)의 양단 곡면부의 반지름이다. multipole field의 제거는 L1을 조정함으로써 이루어진다.

[106] 도 14는 제1실시예에 따른 전자빔 발생장치의 L1과 푸리에계수와의 관계를 나타낸 도면이다. 계산기를 사용한 수학적 분석에 의하여 얻어진 dipole field offset oscillation은 도 14에서 사각형으로 표현된 부분이다. 도 14의 연결선은 수학적 식 6에 의하여 구한 것이다. y축방향의 위상 분포 계수

$$K_y$$

는 이러한 분석에 의하여 계산가능하다.

$$K_y$$

는 10^{-5} 과 같이 상대적으로 작은 값이기 때문에 본 실험에서는 무시할 수 있다.

[107] 펌핑홀의 전기장은 감쇄 모드(evanescent mode)이어야 하며, 커플링홀과 펌핑홀의 각각의 경계 조건(boundary condition)이 다르기 때문에 더 많은 최적화 프로세스가 필요하다. 펌핑홀 치수(L1)의 조절을 통하여 dipole mode를 최적화하는 것이 가능하다. 커플링홀의 치수조정은 공진공동의 공진주파수를 변경시키기 때문에 공진공동의 치수조정이 더 필요하다. quadrupole field는 변하지 않는 반면에, 최적 치수에서의 dipole field는 도 14에서 도시된 것처럼 감소한다. 도 14에서 도시된 바와 같이 dipole field 제거과정 이후에 quadrupole field는 dipole field보다 크다는 것을 알 수 있다. 펌핑홀과 커플링홀에 대하여 90도 위치에 마련된 두 개의 추가 펌핑홀은 quadrupole field를 효과적으로 제거할 수 있다. 제2실시예는 단순한 원통형태로 마련되며 제작이 용이한 두 개의 추가 펌핑홀을 포함하는 구성이다.

[108] 도 15는 제2실시예에 따른 전자빔 발생장치의 사시도이다. 도 16은

제2실시에에 따른 전자빔 발생장치를 x축에 수직으로 절단한 측단면도이다. 도 17은 제2실시에에 따른 전자빔 발생장치를 z축에 수직으로 절단한 측단면도이다. 도 18은 제2실시에에 따른 전자빔 발생장치를 z축에 수직으로 절단한 단면사시도이다. 도 16 및 도 17에서 제1실시에와 유사한 구성에 대한 중복된 설명은 생략한다.

- [109] 도 17에 도시된 바와 같이, 제2펌핑포트(270)는 측벽(271), 바닥판(274)을 포함한다. 내측에는 제2펌핑공동(273)이 마련되며, 바닥판(274)에는 제2펌핑홀(275)이 마련된다. 제3펌핑포트(280)는 측벽(281), 바닥판(284)를 포함한다. 내측에는 제3펌핑공동(283)이 마련되며, 바닥판(284)에는 제3펌핑홀(285)이 마련된다. 제2펌핑공동(273)과 제3펌핑공동(283)은 진공펌프(미도시)와 연결되어 공진공동의 진공도를 유지하게 된다.
- [110] 도 19는 제2실시에에 따른 전자빔 발생장치에서의 L2와 푸리에계수와와의 관계를 나타낸 도면이다. 여기서, 제1펌핑홀(165), 제2펌핑홀(275) 및 제3펌핑홀(285)의 L2가 모두 동일한 치수이며, L1은 11.65로 고정되어 있고, 세 개의 펌핑홀의 L2를 동일하게 변경하면서 측정하였다. 다른 실시예로서, 제1펌핑홀(165), 제2펌핑홀(275) 및 제3펌핑홀(285)의 각각의 L2 수치를 서로 달리 하면서 최적의 조건을 찾을 수도 있다.
- [111] 도 19에서 도시된 바와 같이, dipole field와 quadrupole field가 동시에 최소화되는 최적의 조건을 찾을 수 있다. 그러나, 세 개의 펌핑홀의 L2가 11.4에서 11.5밀리미터일 때에는 고차 필드가 증가하는 경향을 볼 수 있다. dipole field와 quadrupole field는 대략 1/10배에서 1/100배 정도로 감소된다. 도 19의 좌측에는 dipole field를 제거하기 전의 L2의 값과 dipole field를 제거한 후의 L2의 값을 도시하였다. 이를 통하여 dipole field 제거 과정에 의하여 dipole field는 상당히 감소되나, quadrupole field에는 큰 영향을 주지 않는다는 것을 알 수 있다.
- [112] 도 20은 제1실시에 및 제2실시에에 있어서 전기장의 각도 분포를 나타내는 도면이다.
- [113] 도 20에서 보듯이, 각도에 따른 전기장의 편차는 대략 L2가 11.4 내지 11.6 범위에서 상당부분 제거됨을 알 수 있다. 이러한 결과에서 볼 때, 고차 multipole field는 거의 제거됨을 알 수 있다.
- [114] dipole field 및 quadrupole field가 최소화되는 L2의 조건은 도 19에서 보듯이 약간 차이가 있다. 이러한 경우에 빔 동역학 시뮬레이션에서 에미턴스가 최소화되는 조건을 quadrupole field 최적화 조건으로 보는 것이 바람직하다. 본 실시예에서 sextupole mode와 octupole mode는 유의미하게 증가하지 않았다.
- [115] 도 21은 제2실시에에 있어서 z축에 대한 y축방향의 표준화 에미턴스에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸 도면이다.
- [116] 사각형 부분은 커플링홀과 펌핑홀이 없는 이상적인 경우를 나타낸다. 도 21의 삼각형 부분은 dipole field 제거 과정에 의한 결과를 나타낸다. 도 21의 원들은 dipole field와 quadrupole field 제거 경우를 나타낸다.

- [117] BNL GUN-III을 사용한 경우는 다이아몬드로 나타냈다. BNL GUN-III(BNL/SLAC/UCLA 1.6 cell S-band 광음극 고주파 전자총)은 포항공대 가속기연구소에서 사용되고 있는 모델이다.
- [118] 도 21에서 보듯이, 이상적인 경우에는 PARMELA 시뮬레이션에 의하면 최소 횡방향 실효 에미턴스가 대략 0.53 mm-mrad 인 것으로 나타났으며, 이 경우에 도 21에서 사각형으로 도시하였듯이 고차의 multipole field는 나타나지 않았다. 조정하기 이전의 경우에는 도 21에서 다이아몬드로 나타낸 것과 같이 대략 1.65 mm-mrad이었으며, 이것은 이상적인 경우보다 3배 이상 큰 값이다.
- [119] 상기 dipole field 제거과정은 도 21에서 삼각형으로 나타낸 것과 같이 횡방향 실효 에미턴스를 대략 0.98 mm-mrad 까지 감소시킬 수 있다. 결국, dipole field 제거과정을 통하여 에미턴스를 대략 40% 정도 감소시킬 수 있다. dipole field와 quadrupole field의 최적화 과정의 경우, 도 21에서 원으로 도시한 것과 같이 에미턴스는 대략 0.60 mm-mrad인 것으로 나타났다. 이러한 최적화 조건에서 에미턴스는 단순히 BNL GUN-III을 사용한 경우보다 대략 60% 감소되는 것으로 나타났다.
- [120] 이하에서는 본 실시예에 따른 전자빔 발생장치를 이용한 전자빔 발생방법에 대하여 설명한다.
- [121] 먼저, 홀(154,254)을 통하여 상기 전자빔 발생장치 내측으로 레이저빔이 입사되는 단계가 실시될 수 있다.
- [122] 다음으로, 입사된 상기 레이저빔에 의하여 상기 전자빔 발생장치의 내측에서 발생된 전자빔이 상기 홀(154,254)을 통하여 배출되는 단계가 실시될 수 있다.
- [123] 다른 실시예로서 홀이 1 개가 아니라 3개로 마련될 수 있다.
- [124] 이 경우에 전자빔배출관, 제1하우징 또는 제2하우징의 측면부에 하나의 홀은 레이저빔이 입사되는 입사홀, 다른 하나의 홀은 레이저빔이 반사되어 배출되는 배출홀, 나머지 홀은 전자빔이 배출되는 전자빔배출홀로서 마련될 수도 있다.
- [125] 상기 전자빔이 배출되는 단계는 웨이브가이드로 입사되는 전자기파에 의하여 상기 전자빔이 가속되면서 배출되는 단계일 수 있다.
- [126] 앞에서 설명되고, 도면에 도시된 본 발명의 일 실시예는, 본 발명의 기술적 사상을 한정하는 것으로 해석되어서는 안 된다. 본 발명의 보호범위는 청구범위에 기재된 사항에 의하여만 제한되고, 본 발명의 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상을 다양한 형태로 개량 변경하는 것이 가능하다. 따라서 이러한 개량 및 변경은 통상의 지식을 가진 자에게 자명한 것인 한 본 발명의 보호범위에 속하게 될 것이다.

청구범위

- [청구항 1] 전자빔이 생성되는 후면부와, 생성된 상기 전자빔이 외부로 배출되도록 전자빔배출홀이 형성된 전면부와, 상기 후면부와 상기 전면부를 연결하는 측면부를 포함하며, 상기 측면부에는 제1홀이 형성되고, 상기 제1홀에 의하여 유발되는 전기장 불균형을 감소시키도록 상기 제1홀과 마주보는 반대편 측면부에 제2홀이 형성된 하우징; 및
상기 제1홀을 통하여 상기 하우징 내부로 전자기파를 공급하도록 상기 측면부에 설치되는 웨이브가이드;를 포함하며,
상기 하우징 내부로 입사된 레이저에 의하여 상기 전자빔이 생성되고 상기 하우징 내부로 공급된 전자기파에 의하여 상기 전자빔이 가속되는 전자빔 발생장치.
- [청구항 2] 제1항에 있어서,
상기 전면부를 통하여 레이저가 상기 하우징 내부로 입사되는 것을 특징으로 하는 전자빔 발생장치.
- [청구항 3] 제1항에 있어서,
상기 제2홀을 통하여 상기 하우징 내부의 공기를 배출함으로써 상기 하우징 내부에 진공을 형성할 수 있도록 상기 측면부에 설치되는 제1평평포트를 더 포함하는 전자빔 발생장치.
- [청구항 4] 제1항에 있어서,
상기 제2홀은 상기 제1홀과 형상이 상이한 것을 특징으로 하는 전자빔 발생장치.
- [청구항 5] 제1항에 있어서,
상기 제2홀은 일측 방향으로 연장된 홀의 형상으로 형성된 전자빔 발생장치.
- [청구항 6] 제5항에 있어서,
상기 제2홀은 실질적으로 타원형 또는 경기장(racetrack)형태로 형성된 전자빔 발생장치.
- [청구항 7] 제1항에 있어서,
상기 측면부는 제1측면부와 제2측면부를 포함하며, 상기 전면부는 상기 제1측면부에 결합되고, 상기 제1측면부와 상기 제2측면부는 연결부에 의하여 연결되며, 상기 제2측면부는 상기 후면부에 결합되고,
상기 제1홀 및 상기 제2홀은 상기 제1하우징 또는 상기 제2하우징에 형성된 것을 특징으로 하는 전자빔 발생장치.
- [청구항 8] 제1항에 있어서,
상기 하우징에는 레이저가 상기 하우징 내부로 입사되는

입사홀과, 상기 하우징 내부에서 반사된 레이저가 배출되는 배출홀이 형성된 전자빔 발생장치.

[청구항 9]

제1항에 있어서,
상기 전자빔배출홀을 통하여 레이저가 입사되고, 상기 후면부에서 반사된 레이저가 상기 전자빔배출홀을 통하여 배출되는 전자빔 발생장치.

[청구항 10]

제1항에 있어서,
상기 제1홀에 의하여 유발되는 전기장 불균형을 감소시키도록 상기 하우징의 상기 측면부에서 상기 제1홀과 상기 제2홀의 가운데에 제3홀이 형성되며, 상기 제3홀과 마주보는 반대편 측면부에 제4홀이 형성된 전자빔 발생장치.

[청구항 11]

제10항에 있어서,
상기 제3홀과 상기 제4홀은 일측 방향으로 연장된 홀의 형상으로 형성된 전자빔 발생장치.

[청구항 12]

제11항에 있어서,
상기 제3홀과 상기 제4홀은 실질적으로 타원형 또는 경기장(racetrack)형태로 형성된 전자빔 발생장치.

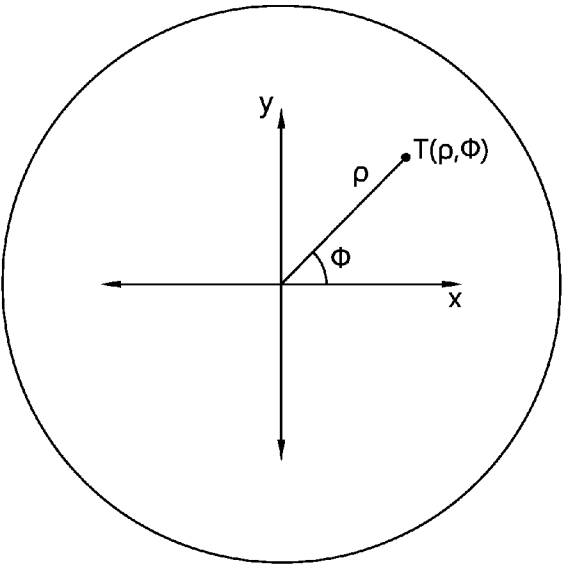
[청구항 13]

제10항에 있어서,
상기 제2 내지 제4홀은 동일 형상으로 마련된 전자빔 발생장치.

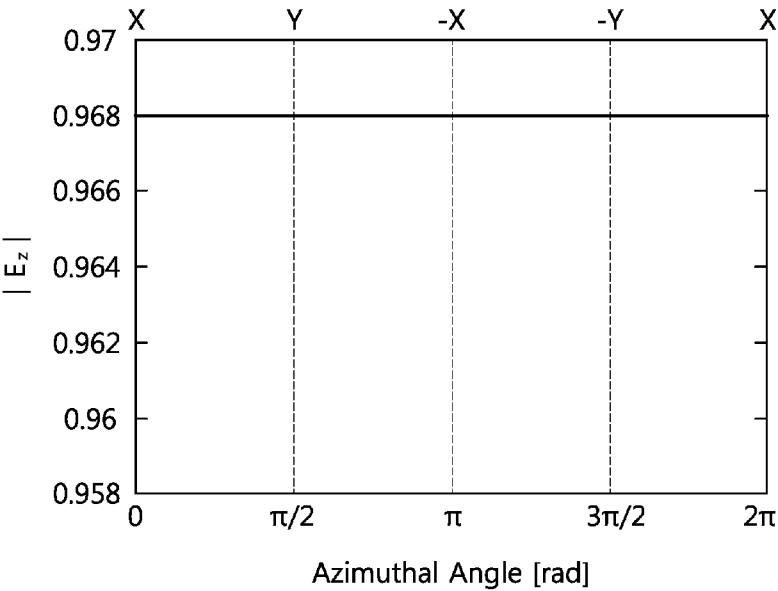
[청구항 14]

제10항에 있어서,
상기 제3홀이 형성된 위치에 제2펌핑포트가 설치되고, 상기 제4홀이 형성된 위치에 제3펌핑포트가 설치된 전자빔 발생장치.

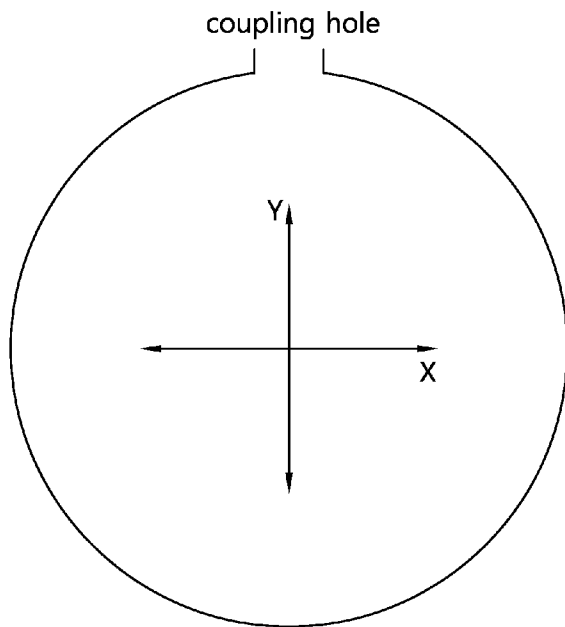
[Fig. 1]



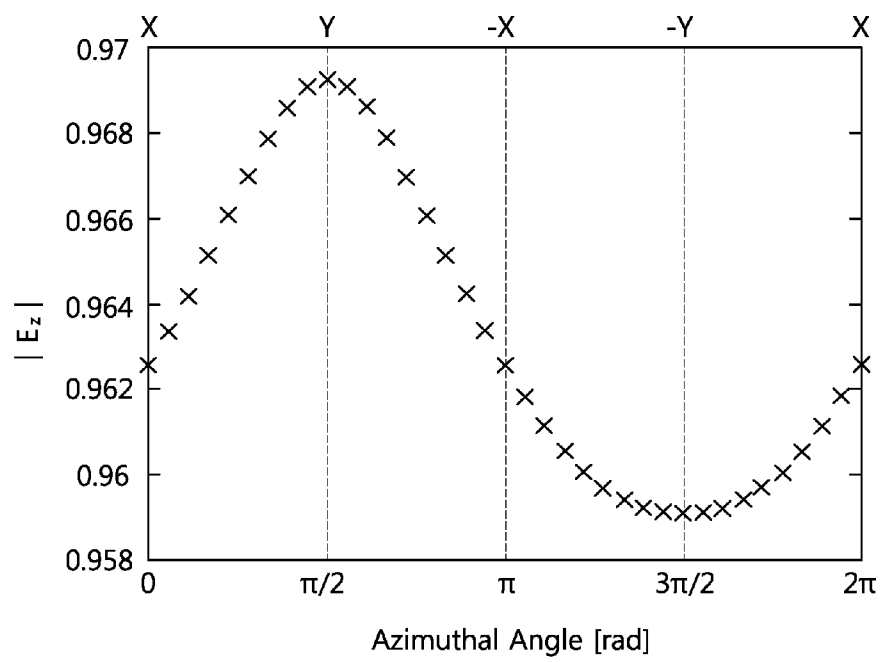
[Fig. 2]



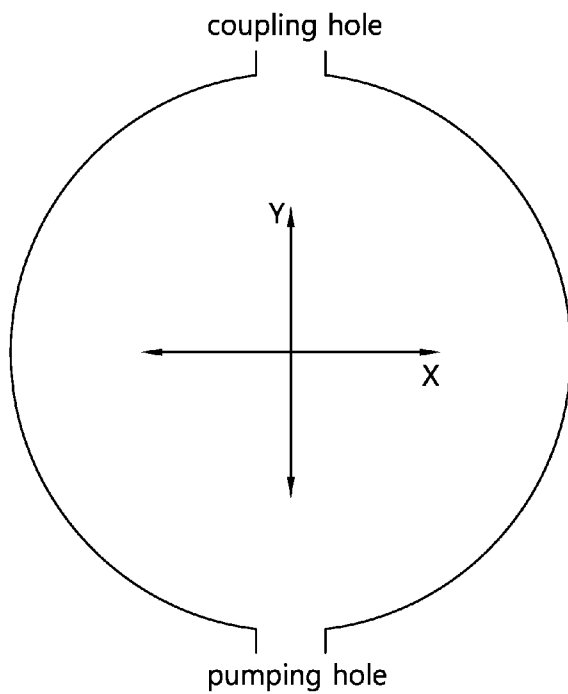
[Fig. 3]



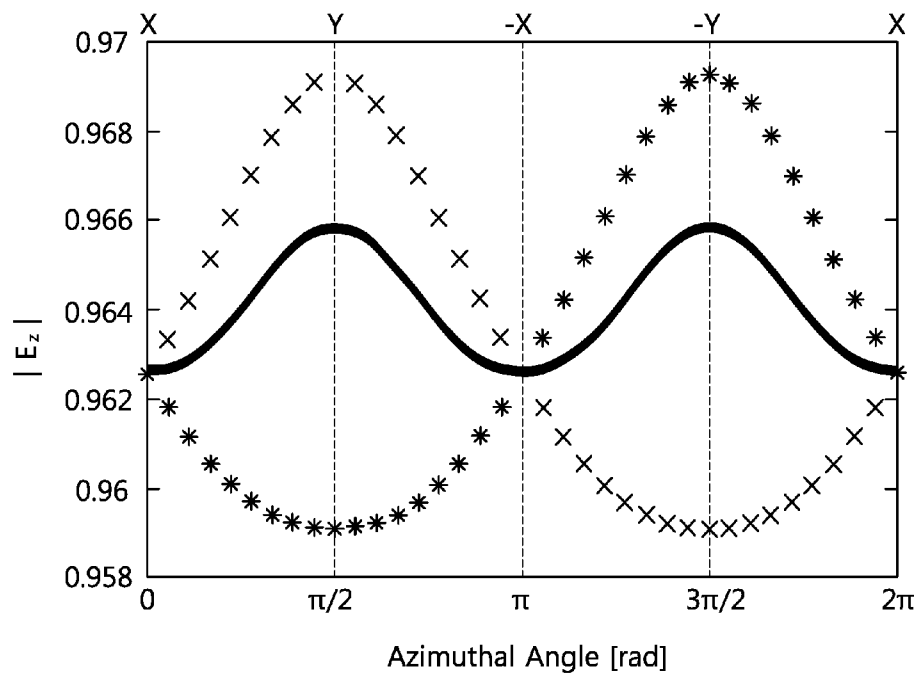
[Fig. 4]



[Fig. 5]

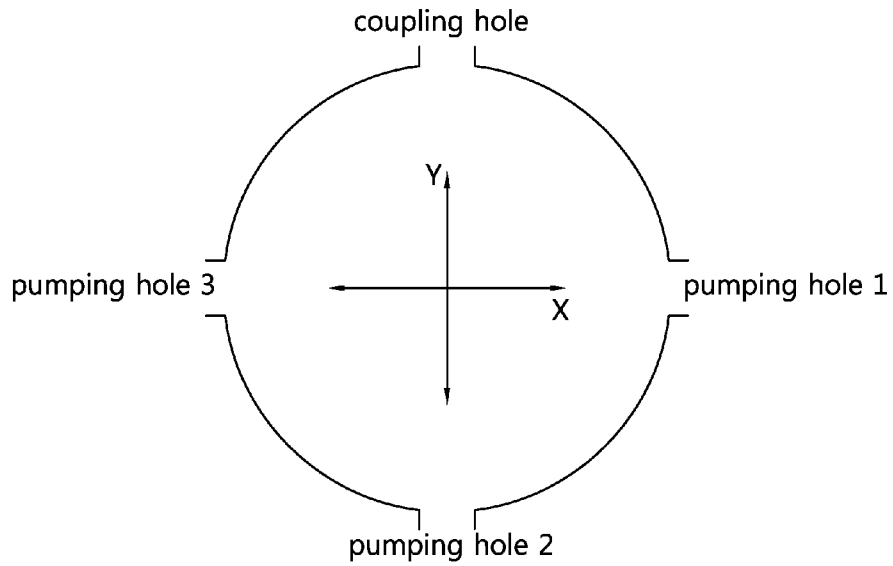


[Fig. 6]

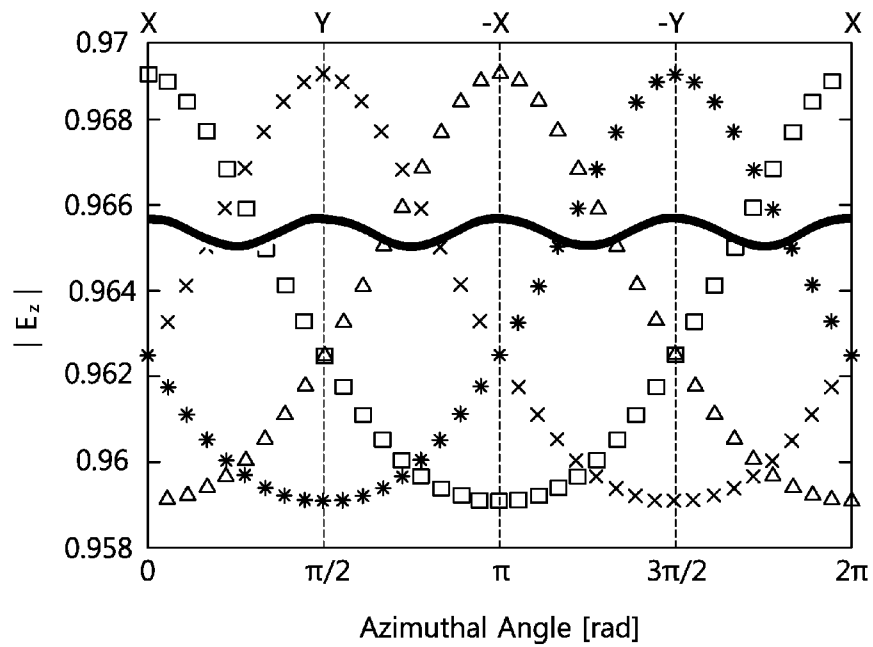


X : dipole field caused by coupling hole
* : dipole field caused by pumping hole

[Fig. 7]

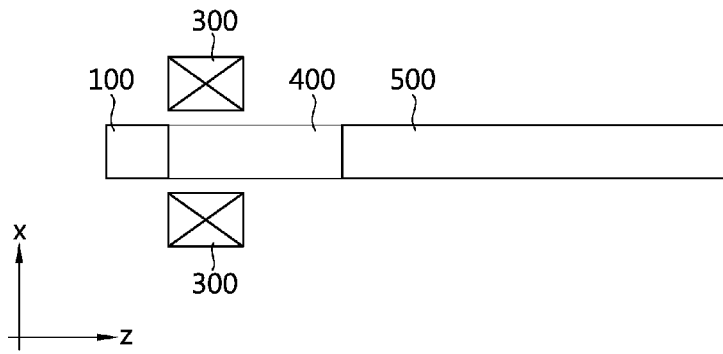


[Fig. 8]

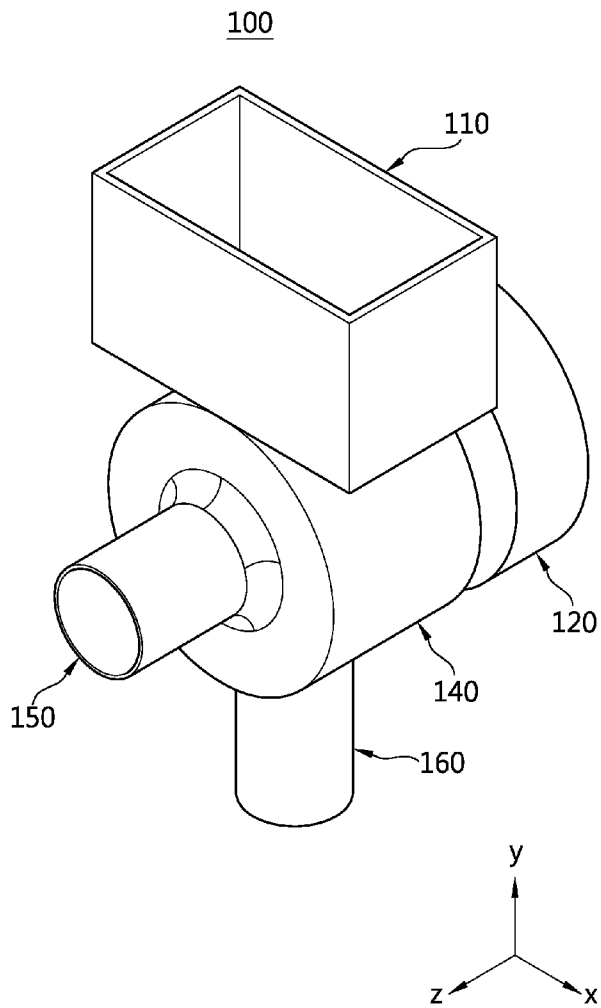


- × : dipole field caused by coupling hole
- : dipole field caused by pumping hole 1
- * : dipole field caused by pumping hole 2
- △ : dipole field caused by pumping hole 3

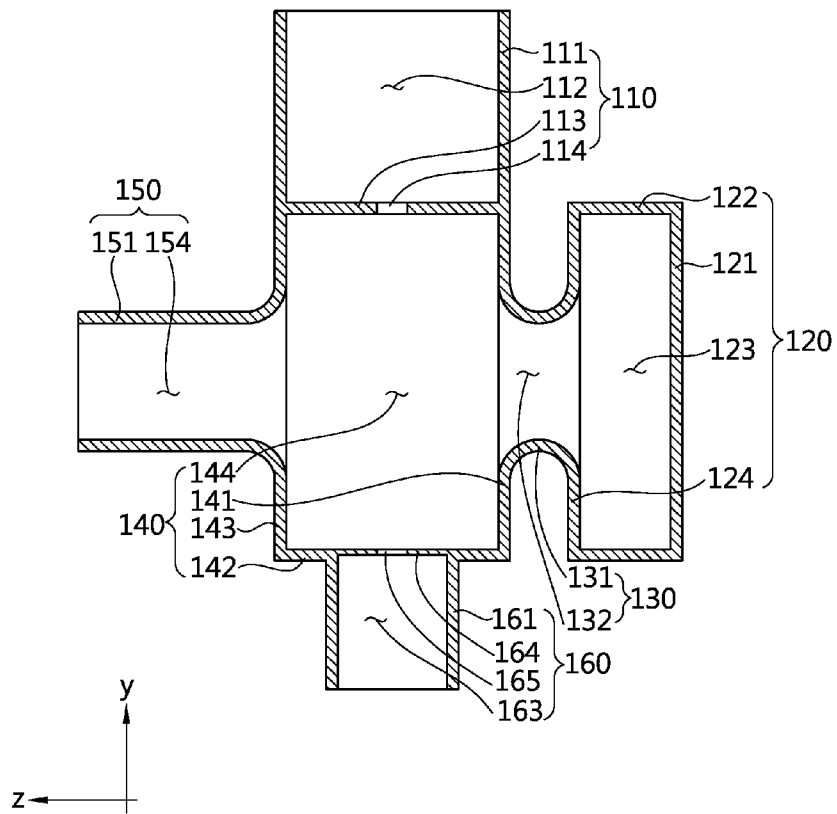
[Fig. 9]



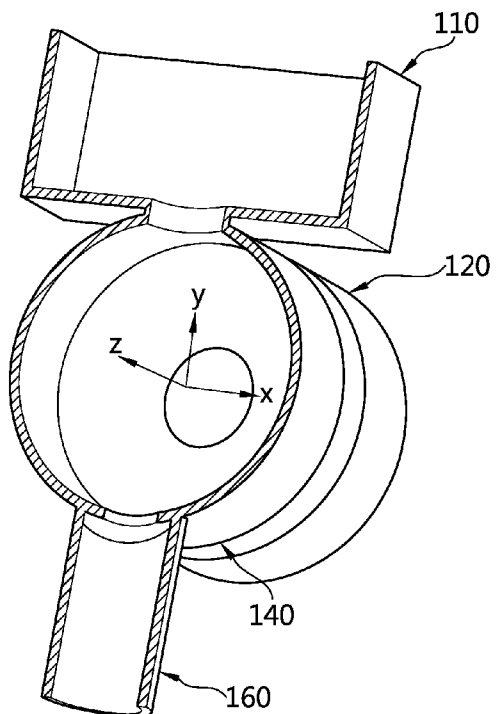
[Fig. 10]



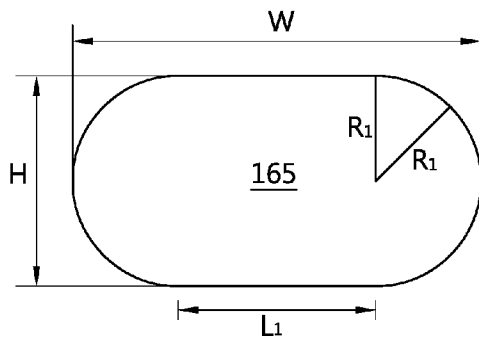
[Fig. 11]



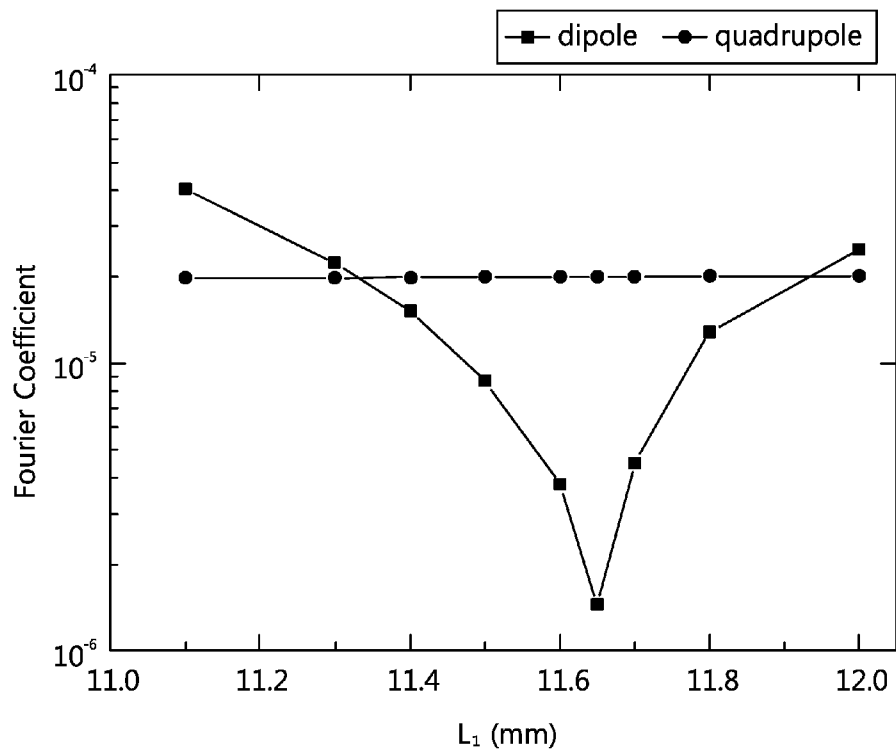
[Fig. 12]



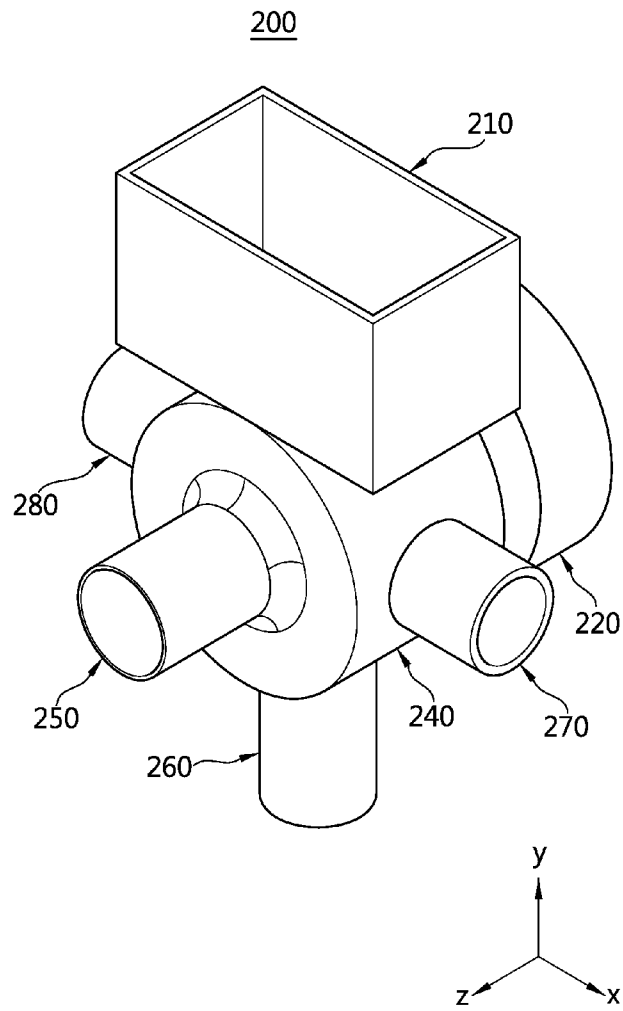
[Fig. 13]



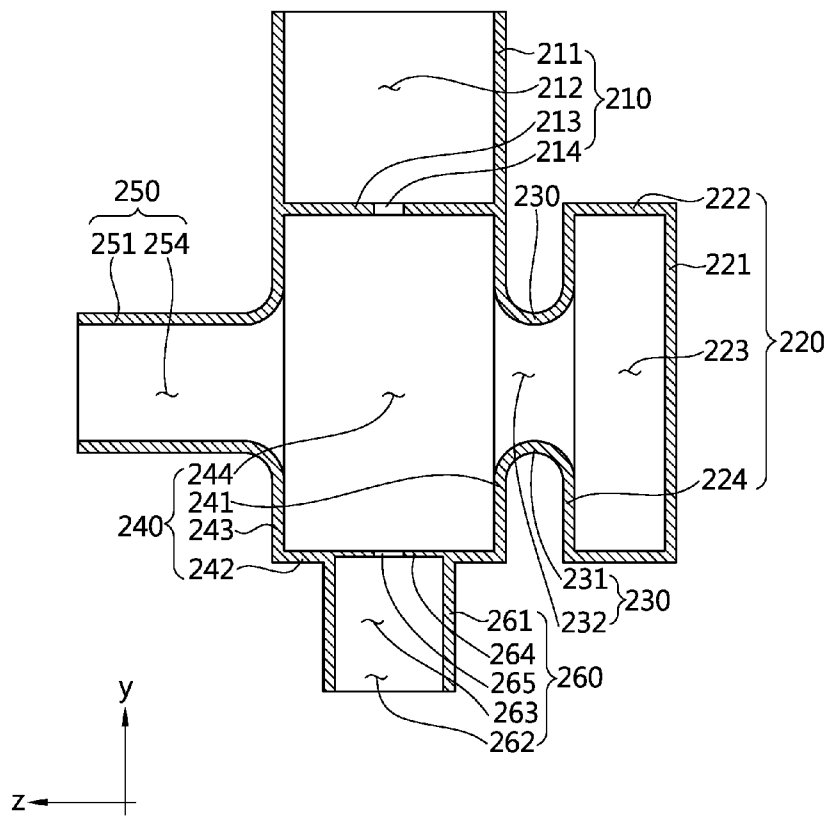
[Fig. 14]



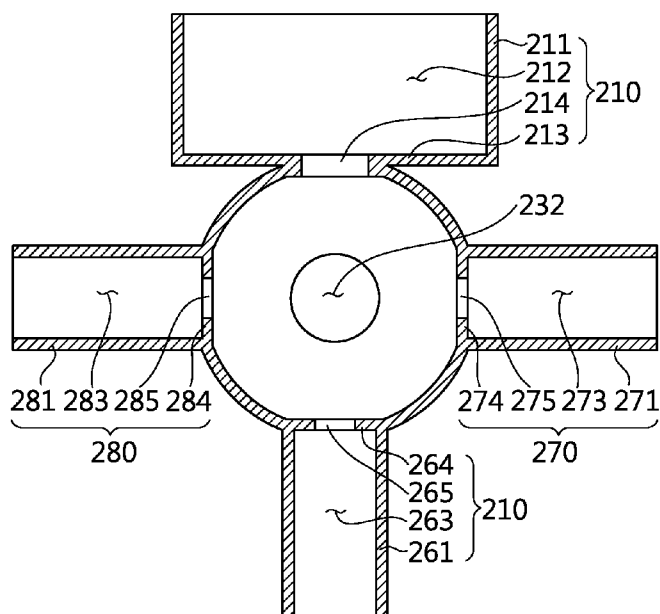
[Fig. 15]



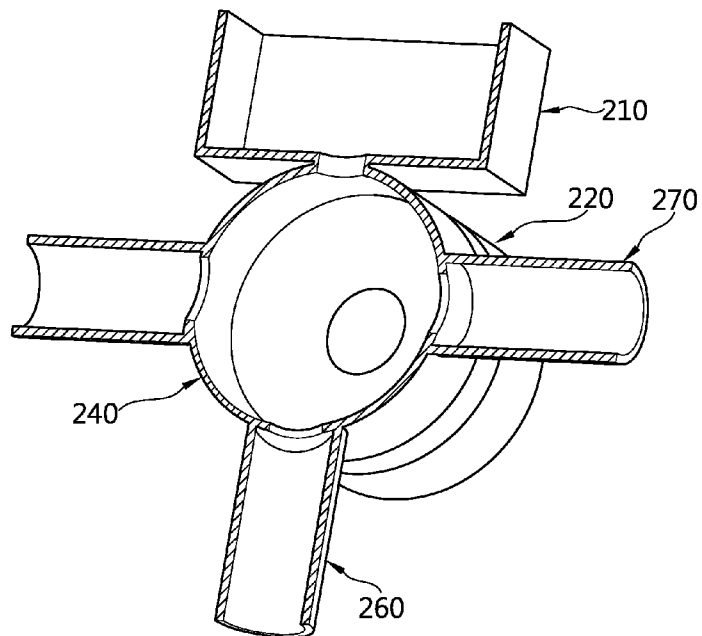
[Fig. 16]



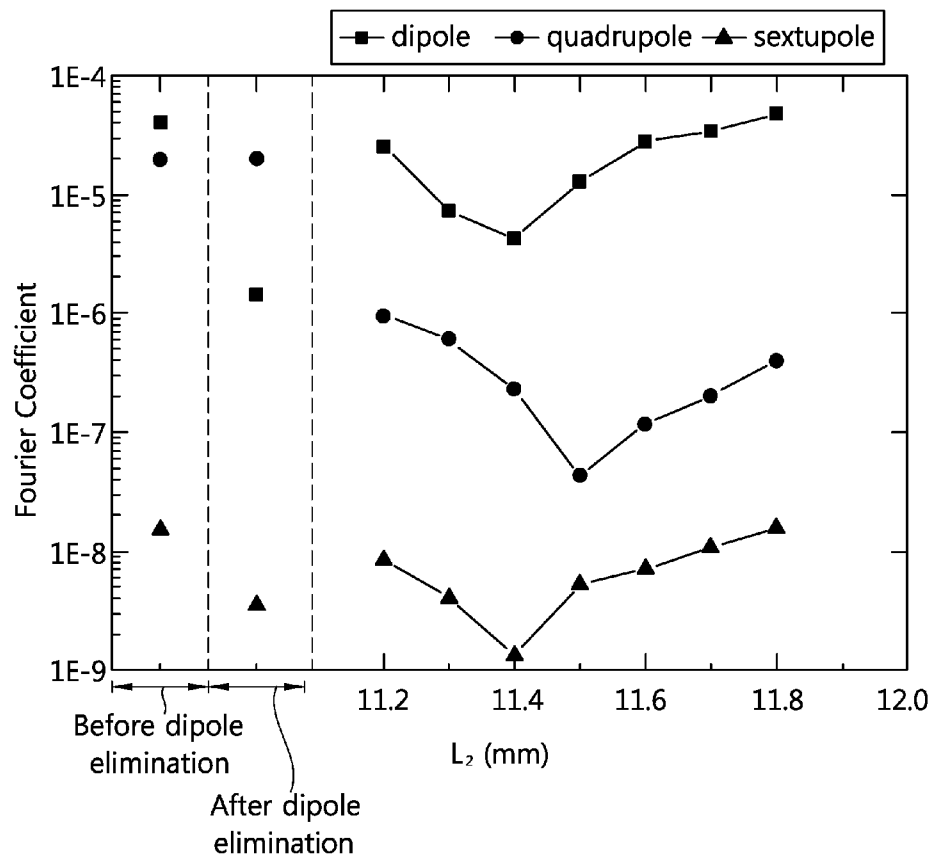
[Fig. 17]



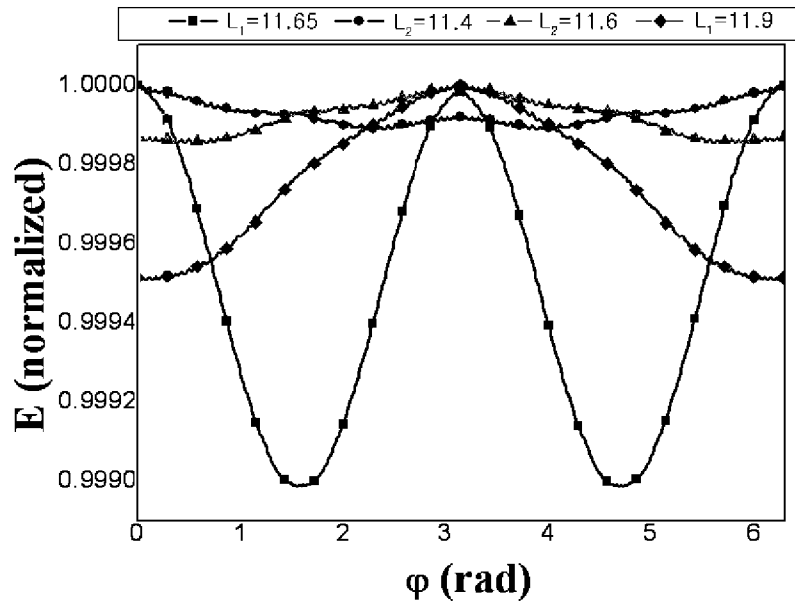
[Fig. 18]



[Fig. 19]



[Fig. 20]



[Fig. 21]

