

장수명 플라즈마 건의 개발

최영욱
한국전기연구원

Development of a plasma gun for long lifetime

Young-Wook Choi
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - A hollow cathode which has extremely stable discharge characteristic has been developed. This is composed of the two separated lanthanum hexaboride (LaB_6) of a disk type in the tube as the electron emitters. The way of design is of great advantage to extend the surface discharge area of the LaB_6 , which is also useful for optimal fixing of the LaB_6 . The hollow cathode is capable of producing 30 kW (100 V, 300 A) of power continuously.

1. 서 론

대전류를 발생시키는 중공(中空) 음극방전 장치(플라즈마 건)는 플라즈마 빔을 발생시켜 재료의 고속증착공정, 플라즈마 세정, 공구 코팅 등 산업사회에서 다양히 적용되고 있다. 이를 위한 대전류를 발생시키기 위해 사용하는 핵심 소자로는 이차전자 방출계수가 큰 LaB_6 (lanthanum hexaboride)를 사용한다[1-4]. 이 소자를 사용하면 수백 암페어의 전류를 쉽게 발생시킬 수 있어서 고출력의 용량으로 재료를 증발시켜 높은 증착률을 얻을 수 있다. 최근에 이를 이용하는 한 예로서 PDP의 전면판의 유전체 보호막인 대면적 산화 마그네슘 박막의 고속증착기술을 들 수 있다. 그런데 이러한 장치는 산업사회에 능률적으로 적용하기 위하여는 장시간 안정적 방전 특성, 유지보수의 편리성 등의 조건이 필요로 한다. 특히 PDP제조 공정에서는 1 달 정도의 안정적 연속운전이 가능한 정도의 장치를 요구하고 있다. 또한 높은 증착률의 공정기술까지도 요구하고 있다. 재료의 증착률은 보통 플라즈마 건의 출력이 비례하는 데 증착률을 높이기 위하여 출력을 증대하는 기술이 또한 요구된다. 이를 위해서는 발생한 플라즈마 빔이 통과하는 중간전극의 설계도 부수적으로 해결해야 하는 상황이 된다. 이를 위해서 중간전극의 장수명화를 위해 플라즈마 빔이 통과하는 부분의 재료를 종래 탄소(흑연)을 사용하던 것 대신 텅스텐을 사용하여 개발을 시도하였다.

그러므로 본 연구에서는 음극 뿐만 아니라 중간전극의 설계도 동시에 고려하여 장시간 안정적으로 운전할 수 있는 플라즈마 빔 발생장치의 개발에 역점을 두었다.

2. 본 론

2.1 음극의 설계

설계한 중공 음극은 그림 1에 나타내었다. 본 중공 음극은 LaB_6 재료를 병렬로 1-2개를 사용할 수 있도록 하였다. 그림 1에는 2개를 적용한 예를 보였다. 사용한 LaB_6 는 외경 50 mm, 내경 10 mm, 두께 5 mm이다. 고온재료인 몰리브덴 원통은 내경 50 mm, 외경 56 mm, 두께 3 mm, 길이 140 mm로 하였고 직경 60 mm의 몰리브덴 봉재료를 선반으로 가공하여 제작하였다. LaB_6 재료는 디스크 형태로 제작하여 내부에 몰리브덴 원통형 지지장치로 고정하였다. 이렇게 고정하면 사용중 LaB_6 가 열스트레스에 의해 균열이 생겨도 서로 맞물려 있는 상태로 유지하여 장시간 문제없이 사용할 수 있는 장점이 있다. 플라즈마 빔이 발생하여 나가는 구멍의 크기는 10 mm로 하고 이 부분은 온도가 매우 높기 때문에 용점이 3300 ℃의 재료인 텅스텐을 사용하였다. 초기 방전 개시를 위해 LaB_6 를 가열하는 수단으로는 텅스텐 필라멘트를 사용하였다. 텅스텐 코일의 직경은 1.3 mm, 저항은 22 mΩ 두께는 11.7 g이다. 몰리브덴 튜브는 스테인레스로 제작하고 고온에 대응하여 수냉각을 적용하였다.

2.2 중간전극의 설계

그림 2에는 본 중공 음극장치를 이온 플레이팅 장치에 적용한 것을 보였다. 발생한 플라즈마 빔은 음극을 빠져나와 중간전극(intermediate electrode) 1, 2를 통과한다. 이 때 발생한 플라즈마 빔의 중심부 온도는 최소한 3000 ℃ 이상이 되므로 용점이 높은 텅스텐을 사용하였다. 이 부분의 기술은 종래에는 주로 탄소(흑연)를 사용하였는데 흑연을 사용하면 수명이 현저히 제한을 받아 1 달 정도의 장시간 운전에서 사용할 수 없다. 특히 중간전극 1 부분의 입구는 가장 온도가 높아서 텅스텐 재료를 사용하고 수냉각을 적용하였다. 이 부분의 텅스텐 재료는 두께 1 mm, 길이 35 mm이다. 그리고 냉각수는 13l/min로 하였다. 중간전극 1에는 영구자석을 넣고 중간전극 2에는 전자석 코일을 적용하여 중심부의 자장이 50 gauss가 되도록 하여 빔의 직진성 진로를 유도하였다.

중간전극의 설계시 장수명화를 위해 고려하면 탄소(흑연)는 텅스텐 보다 증발률이 1500 ℃ - 3000 ℃에서 20 -100배의 성질을 가지는 것을 확인 할 수 있다. 그러므로 텅스텐의 사용은 수면 면에서 매우 우월한 것을 알 수 있다[2].

2.3 실험

그림 3 중공 음극(plasma gun)을 실험하기 위한 장치를 보였다. 진공챔버는 높이 1 m, 길이 5 m, 폭 0.3 m이다. 플라즈마 건은 챔버 위 에 중간 전극과 함께 조립하여 장착하였다. 방전의 개시를 용이하게 하는 부하저항은 그리드 1에 20 Ω, 그리드 2에 10 Ω을 연결하였다. 음극과 양극의 간격은 0.7 m이다. 실험 압력은 2-10 mTorr로 하였고 가스는 아르곤을 사용하였다. 챔버 위 아래에 설치한 전자석은 외경 0.62 m, 내경 0.48 m, 높이 0.2 m이다. 권선은 두께 1 mm, 폭 10 mm의 동으로 309번 권선하였다. 코일에 흐르는 전류는 각각 최대 100 암페어를 흘릴 수 있도록 하였다. 음극과 양극사이에는 직류 전원을 연결하였다. 플라즈마 건을 가동하기 위해 먼저 텅스텐 열 필라멘트에 70 암페어를 흘리면서 LaB_6 를 1800 ℃로 가열 후 아르곤 가스를 흘리며 400 V의 트리거 전압을 인가하면서 그 후 주 전원을 투입하여 플라즈마 빔을 발생시켰다. 주 전원으로 실험 전류는 최대 300 암페어까지 인가하였다.

2.4 고 찰

본 플라즈마 건은 이온 플레이팅 장치에 적용하여 500 시간 이상 연속 운전을 하였다. 500 시간 연속운전 후 중공 음극과 중간전극에 거의 손상이 발생하지 않았다. 이러한 결과로부터 본 장치는 장시간 연속사용하는 이온 플레이팅 장치에 적용할 수 있다고 판단된다. 연속운전에 대해 자세히 설명하면 일단 LaB_6 가 1개 일 때보다 2 개일 때 초기 방전에서 훨씬 안정되었고 이는 분리된 방전 공간과 LaB_6 의 표면적이 커진 영향 때문으로 사료된다. 두 개의 LaB_6 를 사용하는 경우 방전 표면적은 56.4 cm²로 계산된다. 이 때 두 번째 LaB_6 는 한 쪽만 방전하도록 텅스텐 필라멘트가 있는 쪽을 몰리브덴 디스크로 덮어 가렸다. 이 표면적으로부터 전류밀도를 300 암페어가 흐를 때 계산하면 5.3 A/cm²로 된다. 이 상태에서 Lafferty's의 상수[1]로부터 LaB_6 의 증발률이 4.5e-9 (g/cm²s)임을 알 수 있다. 이 증발률로부터 500시간 동안 실험 후 눈으로 보아서는 알 수 없지만 0.24 g

의 LaB_6 가 증발됨을 추정할 수 있다. LaB_6 의 무게는 72 g임을 미루어 볼 때 매우 작은 양이 증발되었고 계산하면 0.3%로 된다. 그러므로 실험 결과는 이상과 같은 근거[1]로 계산한 결과와 일치함을 알 수 있다. 실험은 500 시간까지 진행하였지만 더 이상도 연속운전이 가능하고 1달도 (720시간) 가능함을 추정할 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 대면적 고속 증착이 가능한 이온 플레이팅 장치에 적용하기 위해 중공 음극형 플라즈마 건과 중간전극을 30 kW급에서 사용할 수 있도록 관련기술 재료의 기초적 자료를 활용하여 설계 및 제작하고 500 시간을 운전 후 상태를 점검한 결과 거의 손상이 없는 결과를 얻었다.

[참 고 문 헌]

- [1] J. M. Lafferty, "Boride Cathodes," J. Appl. Phys., vol. 22, no. 3, pp. 299-309, 1951.
- [2] A. N. Broers, "Some experimental and estimated characteristics of the lanthanum hexaboride rod cathode electron gun," J. Phys. E2, vol. 2, pp. 273-276, 1969.
- [3] D. M. Goebel, J. T. Crow, and A. T. Forrester, "Lanthanum hexaboride hollow cathode for dense plasma production," Rev. Sci. Instrum., vol. 49, no. 4, pp. 469-472, 1978.
- [4] D. M. Goebel, Y. Hirooka, and T. A. Sketchley, "Large-area lanthanum hexaboride electron emitter," Rev. Sci. Instrum., vol. 56, no. 9, pp. 1717-1722, 1985.

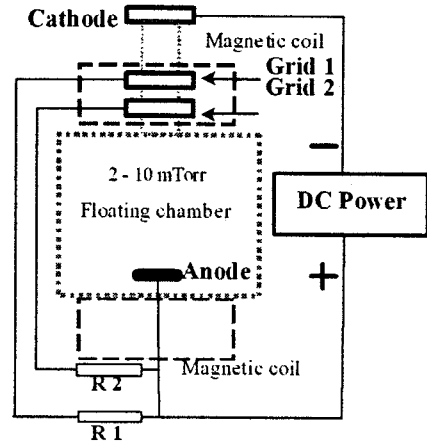


그림 3 음극과 중간전극 실험장치

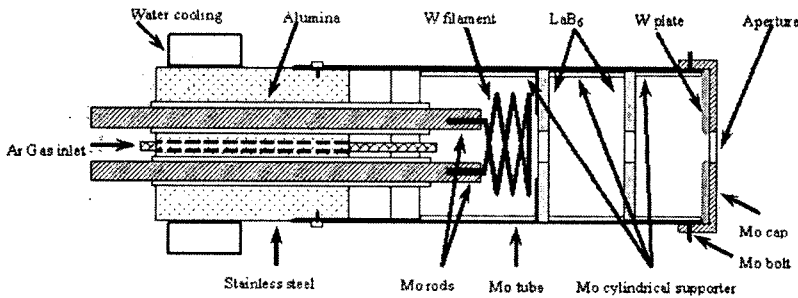


그림 1 설계한 음극 방전장치

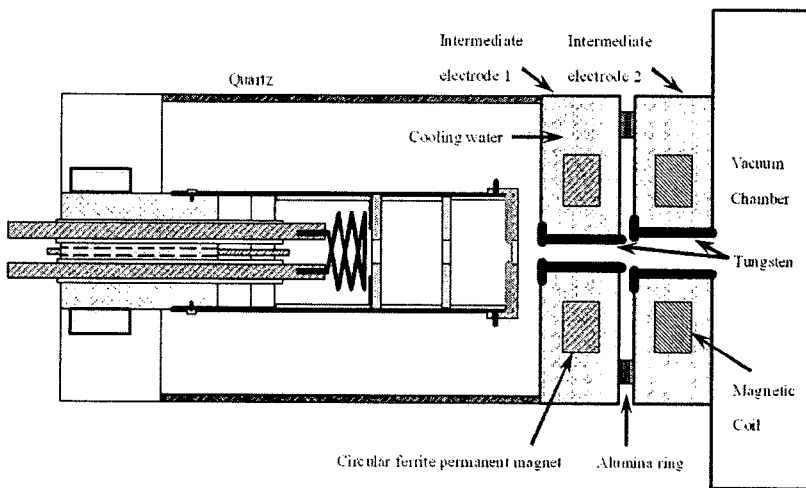


그림 2 중공 음극과 중간전극 조립도