

A Study on the Sputtering System Using Ion Plating Technique

鄭 然 鎬* · 崔 永 旭†

(Yeon-Ho Jeong · Young-Wook Choi)

Abstract - In this paper, to produce sheet plasma with high density for ion plating, we designed magnetic circuit of ion plating device consisting of solenoid coil and rectangular permanent magnet. And, we analyzed the effects of the magnetic field distribution using FEM (Finite Element Methode). Additionally, we made a sputtering system including ion plating technique on the basis of the design and verified the possibility of the sheet plasma application for advanced sputter system.

Key Words : Ion Plating, FEM, Sheet Plasma, Sputtering

1. 서 론

근래, 벽걸이 TV의 꿈을 실현시킬 디스플레이 소자로서 PDP(Plasma Display Panel)가 주목받고 있다. PDP는 플라즈마 가스방전을 이용하는 자체발광소자로서 CRT에 필적하는 화질과 대화면화가 용이하다는 특징을 가지고 있다. 즉, 대화면, 박형, 고화질, 광시야각의 장점을 가진 40~100 인치 대화면 디스플레이 장치로서 가장 기대되는 평판표시 패널이다.

현재, PDP와 같은 대면적 박막 제조과정에서 산화 마그네슘 보호층(MgO) 등을 진공증착시키는 방법으로는 대부분의 업체가 전자 빔 증착법을 사용하나, 대화면을 위한 패널의 제조공정을 간략화하고 경비를 저감하기 위한 새로운 박막기술의 개발이 요구된다. 또한 MgO 진공증착의 한 방법인 스퍼터링법은 인라인 제조 프로세스에는 유리하나, MgO 박막의 형성속도가 전자 빔 증착법 보다 느린 단점이 있다. 그래서 이들 단점을 보완하여 증착공간에 보조적으로 플라즈마를 발생시킴으로써 MgO 박막을 제작하는 이온 플레이팅법이 연구되고 있다. 이 기술로 스퍼터링의 낮은 성장속도를 보완하여 대면적 증착기술이 요구되는 분야에서 보다 높은 증착속도가 가능토록 하는 박막제조 기술로 기대된다.[1-6]

플라즈마를 이용하는 이온 플레이팅법에서는 플라즈마의 형상이 넓고 두께가 얇은 것이 효율이 높다[7]. 따라서, 본 논문에서는 이온플레이팅법을 이용한 MgO박막장치에서 플라즈마가 넓고 두께가 얇은 형태로 변형되도록, 즉 sheet형

플라즈마가 발생되도록 영구자석 및 공심 솔레노이드로 구성되는 자기회로를 설계 및 제작하고, 유한요소법을 이용한 자기회로 해석과 실험을 통해 그 효과를 고찰한다.

2. Sheet 플라즈마의 형성

2.1 플라즈마의 물리적 특성

준중성 가스인 플라즈마는 그 요소들(하전입자와 중성입자)의 하전성 때문에 전기를 전도시키며 전기력으로 인하여 중성화하려는 경향이 있고, 그로 인해 진동을 발생시킨다. 또한 외부의 영향에 의한 플라즈마의 진동도 고려될 수 있으며, 이러한 모든 진동은 플라즈마파의 원인이 된다. 플라즈마 입자의 하전성에 의한 가장 큰 특징은 그 특성을 이용하여 여러 가지 방법으로 플라즈마를 제어할 수 있는 점이다. 주로 자기장을 이용하여 입자들을 제어하며 이 자기 차폐는 열핵융합로 연구에서 많이 쓰이는 방식이기도 하다.

그러나, 플라즈마는 가스의 흐름, 즉 유체이며 개별적인 하전입자의 자기적 차폐를 고려하는 것은 불가능하므로 유체역학적인 분석이 필요하게 되며 여러 가지 지배 방정식의 유도가 요구된다. 이때, 하전입자 상호간의 또는 하전입자와 중성입자들간의 충돌로 인한 플라즈마의 확산, 하전입자 상호간의 재결합으로 인한 입자 손실, 외부에서 인가된 전자기장의 방향에 따른 여러 가지 드리프트에 의한 확산 등이 고려되어야 한다. 본 논문에서는 외부에서 인가된 전자기장에 의한 자기차폐만을 통해 플라즈마의 입자가 제어된다는 전제 조건이 부여된다.

2.2 고효율 플라즈마

입자의 방전전류에서 발생하는 방전 플라즈마 내에 큰 평면 금속시료를 넣고 이온 플레이팅[8]을 할 때, 플라즈마의 형상이 넓고 두께가 얇은 것이 효율이 좋다. 이것은 다음과

* 正 會 員 : 韓國電氣研究院 先任研究員 · 工博

† 교신저자, 正 會 員 : 韓國電氣研究院 責任研究員 · 工博

E-mail : ywchoi@keri.re.kr

接受日字 : 2007年 9月 10日

最終完了 : 2007年 10月 1日

같은 고려사항으로 이해할 수 있다. 우선 전기장에 따른 방전으로, 일정 방전전류 I_0 에서 그림 1과 같은 입방체의 체적 abx 내에 일정 수 N_0 개의 플라즈마(이온과 전자의 쌍)가 생성되고 있다고 가정한다. 여기서 면적 ab 의 평면으로부터 (-)바이어스 전압을 인가한 금속평판에서 이온을 인출하는 것을 고려한다.

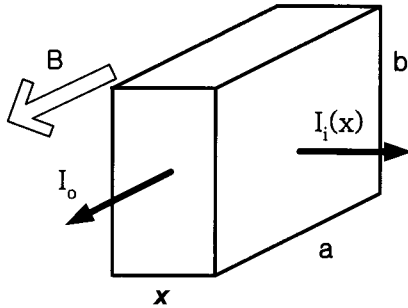


그림 1 외부자기 내의 플라즈마 입방체

(I_0 : 방전 전류, $I_i(x)$: ab-평면에서 유입된 이온전류, N_0 : 전체 이온 수, B : 외부 자기, a : 플라즈마 폭, b : 플라즈마 길이, x : 플라즈마 두께)

Fig. 1 Plasma cubic in external magnetic

(I_0 : discharge current, $I_i(x)$: ab-plane induced ion current, N_0 : number of total ion, B : external magnetic, a : plasma width, b : plasma length, x : plasma thickness)

플라즈마 이온의 밀도 $n(x)$ 는

$$n(x) = \frac{N_0}{abx} \quad (1)$$

으로 결정되므로 ab평면으로부터 인출되는 이온전류 $I_i(x)$ 는

$$I_i(x) = \frac{1}{4} en(x)v_o ab \quad (2)$$

$$v_o = \sqrt{\frac{2eV_e}{M}} \quad \left. \vphantom{\frac{2eV_e}{M}} \right\}$$

여기서, e 는 전자의 전하, v_o 는 이온의 초속도, V_e 는 전자 온도[eV]이다. 식(1)과 (2)로부터

$$I_i(x) = \left(\frac{eN_0v_o}{4} \right) \frac{1}{x} \quad (3)$$

을 얻는다. 식(3)은 플라즈마의 두께 x 를 작게 하면 일정 방전전류에 대해서 평판에 이온 전류가 증대하는 것을 나타내고 있다. 따라서 효율이 좋은 평판의 이온 플레이팅을 위해서는 폭이 넓고 두께가 얇은 sheet 플라즈마가 필요하게 된다.

2.3 Sheet 플라즈마의 생성원리

우선, 직류방전에 의해 원주 플라즈마가 그림 2에 나타난 전극배치에 의해 만들어지고 있는 것을 전제로 한다.

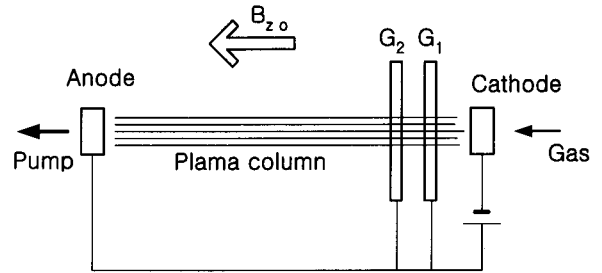


그림 2 외부자기에 의한 원주 플라즈마 발생

Fig. 2 Generation of circle plasma using external magnetic

여기서, G_1 과 G_2 는 각각 제 1, 2 중간전극이고, B_z 는 외부 자기장을 나타낸다. 애노드 전극과 제 2 중간 전극 사이에서 원주 플라즈마를 폭이 넓고 두께가 얇게 바꾸기 위해서 그림 3에 표시한 것과 같이 2개의 각형 영구자석을 플라즈마 원주의 양측에 배치한다. 플라즈마 원주가 흐르는 방향을 z 축, 영구자석의 표면에 수직인 양측을 y 축, 평행한 양측을 x 축으로 설정하면, 영구자석에 의한 새로운 자장 성분 B_x, B_y, B_z 가 초기 자장 B_{z0} 에 더해진다. 여기서, 영구자석의 극성을 그림 3과 같이 설정하면 B_x 성분은 플라즈마 원주를 x 방향으로 넓히고, B_y 성분은 $x-z$ 평면으로 압축한다.

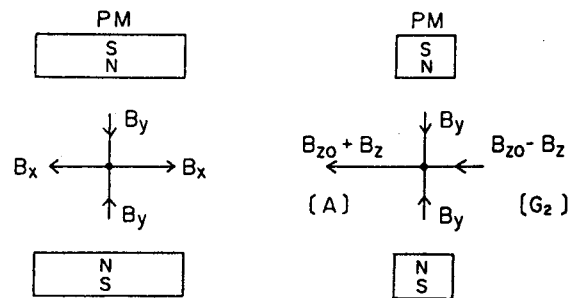


그림 3 영구자석에 의한 자속(B_x, B_y, B_z)과 외부 자기에 의한 자속(B_{z0})

[A]: Anode 방향, [G2]: 제 2 중간 전극 방향

Fig. 3 Flux of permanent magnet(B_x, B_y, B_z) and external magnet(B_{z0})

[A]: Anode direction, [G2]: Direction of second intermediate electrode

또한 B_z 성분은 플라즈마가 흐르는 방향, 즉 영구자석과 애노드 사이에서는 초기자장 B_{z0} 를 강하게 하고, 제 2 중간 전극사이에서는 약하게 한다. 제 2 중간 전극과 영구자석 사이에서 ($B_{z0}-B_z$)가 B_x 에 근접하는 점이 존재하면 플라즈마는 x 방향, z 방향으로 같게 넓어지기 때문에 방전공간영역의 직경방향(x 방향)으로 넓어져 그림 4와 같은 형태로 되는 것이 예상된다.[2]

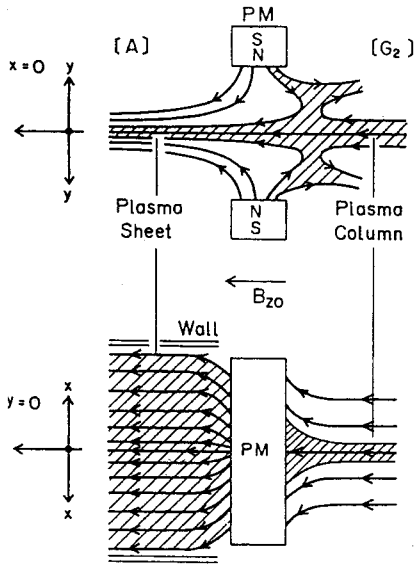


그림 4 자속선 분포와 플라즈마 형상
Fig. 4 Magnetic field distribution and plasma form

PM : 영구자석 (permanent magnet)
[A] : Anode 방향 (anode direction)
[G₂] : 제 2 중간전극 방향 (Direction of second intermediate electrode)
B_{z0} : 외부 자계 (external magnet)

3. 박막제조 장치의 자기회로 해석

본 연구에서 MgO 증착을 위해 고안한 플라즈마를 이용한 박막제조장치의 개략도와 제작된 시작품을 각각 그림 5와 그림 6에 나타내었다. MgO박막장치의 상측에 플라즈마 발생장치가 위치하며, 외부 자계를 인가하기 위해 권선1과 권선2를 그림 5와 같이 상측(Cathode측)과 하측(Anode측)에 각각 설치하였다.

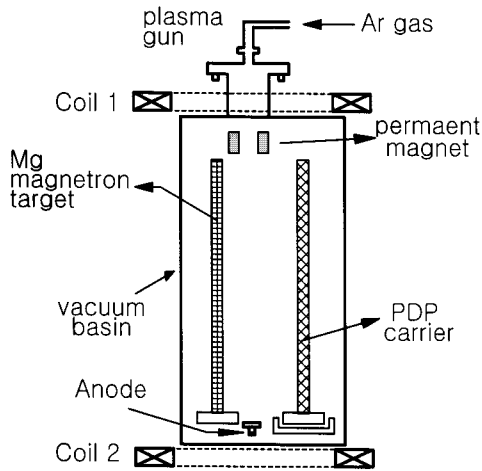


그림 5 MgO 박막제조 장치의 개략도(측면도)
Fig. 5 Schematic of device for magnesium oxide thin film coating system (side view)

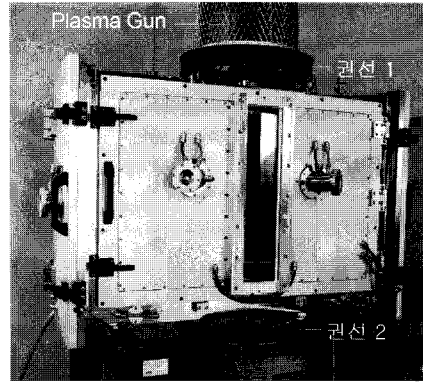


그림 6 제작한 MgO 박막제조 장치
Fig. 6 Manufactured coating system for magnesium oxide thin film

그리고, 원주형태로 발생된 플라즈마를 넓게 퍼주기 위해 플라즈마 발생장치의 아래쪽에 막대형 영구자석 2개를 마주 보게 배치하였다.

박막제조 장치의 자기회로 해석은 해석모델의 기하학적인 특성상 3차원으로 수행되었다. 해석모델은 그림 7과 같이 자계를 발생시키는 요소만으로 구성되었으며, 이외의 요소들은 모두 비자성체로 제작되었으므로 생략되었다. 권선1의 위측은 플라즈마 발생장치 내에 있는 원형자석과 코일을 나타낸다.

해석결과, 박막제조 장치의 자속분포는 그림 8과 그림 9와 같다. 외부 권선1, 2에 의해 박막 증착공간에서 자기차폐가 형성되었으며, 영구자석에 의해 x-z평면에서 얇게 수축되고 있다. 그림 9에서는 권선1과 권선2에 각각 15[A]와 60[A]의 전류를 흘릴 때 발생하는 자속분포를 비교하였다. 강한 외부자계에 의해 자기차폐는 더욱 수축되는 경향을 보이고 있다. 그림 10에는 해석모델의 중앙선(z방향)을 따라 분포된 자속밀도를 권선의 전류변화에 따라 나타내었다. 여기서 자속밀도의 (-)값은 Anode로 향하는 성분을 나타내며, 위치가 0인 점이 영구자석의 위치를 나타내고, (+)위치가 Anode방향으로 MgO증착공간이다. 그림 11과 그림 12는 시작품에서 시험한 플라즈마 형상으로 외부자계의 유무에 따른 형상변화를 나타내고 있다.

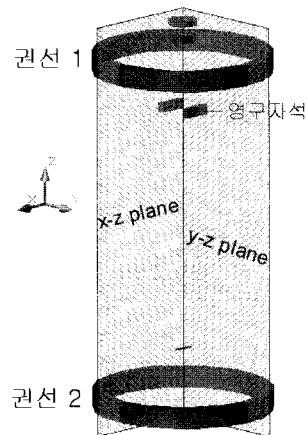


그림 7 박막제조 장치의 자기회로 해석모델
Fig. 7 Model of device for thin film manufacture system

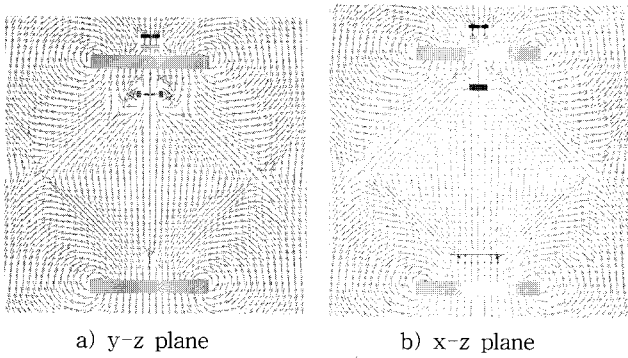


그림 8 박막제조 장치의 자속 벡터도
Fig. 8 Vector diagram of thin film manufacture system

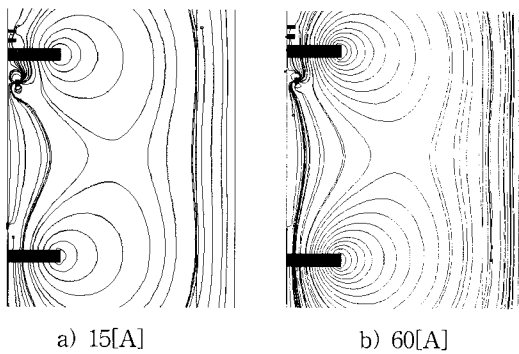


그림 9 y-z평면에서의 자속선 분포
Fig. 9 Magnetic field distribution of y-z plane

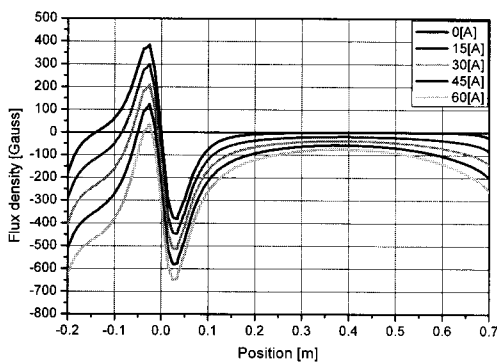


그림 10 모델의 자속밀도 분포(z성분)
Fig. 10 Flux density distribution of model (z axial)

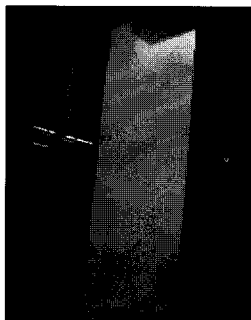
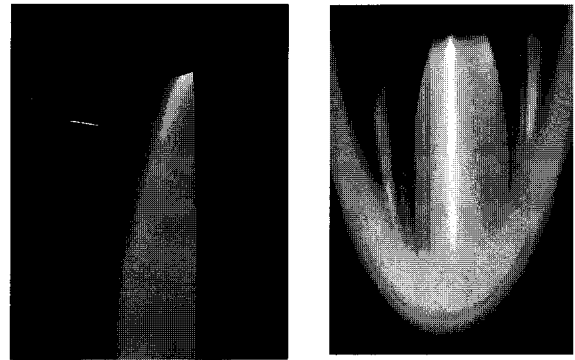


그림 11 외부 자계가 없는 플라즈마 형상
Fig. 11 Plasma form without external magnetic



a) 정면 형상(y-z평면) b) 측면 형상(x-z평면)

그림 12 외부자계 및 영구자석에 의한 플라즈마 형상
Fig. 12 Plasma form with external magnetic and permanent magnet

4. 결 론

본 논문에서는 이온 플레이팅법을 이용한 산화마그네슘 박막 제조장치에서 플라즈마가 넓고 두께가 얇은 형태로 변형되도록 영구자석 및 공심 솔레노이드로 구성되는 자기회로를 설계하고, 유한요소법을 이용한 자계분포 해석을 통해 그 효과를 검토하였다. 분석결과 외부자계에 의해 발생된 자기차폐에 의해 플라즈마는 넓고 얇게 수축되었으며, 외부자계의 세기가 클수록 이러한 경향은 커졌다. 따라서 영구자석의 위치와 형상, 그리고 치수를 변화시키며 고밀도의 sheet 플라즈마가 형성되는 최적의 자기회로를 설계할 수 있었고, 실제 제작 후 해석결과와 확인도 할 수 있었다. 이러한 해석 결과는 타겟과 기판사이에 얇은 sheet 형태의 플라즈마를 발생시켜 반응성 스퍼터링 공정에서 플라즈마의 밀도를 높이는 데 응용할 수 있고 나아가서 스퍼터율을 높이는 요소 기술로서 응용 할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 이두희, "플라즈마 디스플레이 패널의 기술동향", 지식 재산21 (특허청), 통권 제 57 호, 11월 1999.
- [2] Young Wook Choi, and Jeehyun Kim, "Reactive sputtering of magnesium oxide thin film for plasma display panel applications". Thin solid films, Vol. 460, pp. 295-299, 2004
- [3] Knotek, O., Lugscheider, E., Siry, C.W., "Tribological properties of B-C thin films deposited by magnetron-sputter-ion plating method", Surface & coatings technology, Vol. 91, No. 3, pp. 167-173, 1997
- [4] Kablov, E.N., Muboyadjyan, S.A., Budenovskiy, S.A., Yagodkin, Y.D., Pastuhov, K.M., "Influence of deposition regimes on structure of ion-plated coatings", Surface & coatings technology, Vol. 93, No.2/3, pp. 335-338, 1997
- [5] Mattox, D.M., "Ion plating - past, present and future", Surface & coatings technology, Vol. 133/134,

pp. 517-521, 2000

- [6] Sugimura, H., Sato, Y., Ando, Y., Tajima, N., Takai, O., "Electron field emission from thin films of amorphous carbon nitride synthesized by arc ion plating", Thin solid films, Vol. 407 No. 1/2, pp. 104-108, 2002
- [7] 補本 上進, "大面積 イオンプレーティングのための 高效率 シートプラズマ", 眞空, 第 25 券 11 號, pp. 719-726, 1982.
- [8] Souji Komiya and Kazuyuki Tsuruoka, "Production and Measurement of Dense Metal Ions for Physical Vapor Deposition by a Hollow Cathode Discharge", Proc. 6th Internl. Vacuum Congr., J. Appl. Phys. Suppl. 2, Pt.1, pp. 415-418, 1974

저 자 소 개



정 언 호 (鄭 然 鎬)

1968년 3월 10일 생. 1993년 충남대 전기공학과 졸업(학사). 1996년 충남대 대학원 졸업(석사). 2007년 동 대학원 졸업(공학박사). 1996~현재 한국전기연구원 전동력연구그룹 선임연구원. 초고속 영구자석 전동기/발전기/착자기/서보모터/전기기기 설계분야

Tel : (055) 280-1488

Fax : (055) 280-1547

E-mail : yhjcong@keri.re.kr



최 영 욱 (崔 永 旭)

1960년 6월 26일생.
 1984년 한양대 공대 전기공학과 졸업
 1994년 九州大學大學院 總合理工學研究科 에너지변환공학과 졸업 (석사)
 1997년 동대학원 졸업 (박사)
 1984년 3월 - 1991년 10월 한국전기연구

소 연구원

1997년 4월 - 현재, 한국전기연구원 책임연구원
 주관심분야 : 생체질병 바이오센서 개발, 레이저·광 응용계측 (LIF), 전자빔/플라즈마응용, PDP MgO박막 제조장비, 고전압 전원기술

Tel : (031) 8040-4167

Fax : (031) 8040-4109

E-mail : ywchoi@keri.re.kr