

스퍼터 기술의 연구동향



신성호

국립기술품질원, 박막연구실
 공업연구원, 관심분야 : 전도성
 투명박막, 초경박막

1. 서 론

초고온, 초고압, 진공 또는 무중력 상태 등 특수한 조건하에서 재료를 합성하거나, 재료 가공을 하는 것에 의해 기존의 재료 기술로는 얻기 어려운 특수한 재료를 합성하여, 전자산업을 비롯한 각종 분야에 응용하고자 하는 기술 개발이 활발히 진행되어 왔다.

그중 진공 반응기 내에서 기관상에 단원자층에서 수 μm 정도에 이르는 박막(thin solid films) 재료를 성장시켜 기계적 성질, 캐리어 이동 메카니즘, 자성, 광학적 성질 등 각종 물성이 bulk 재료와는 전혀 다른 새로운 재료로 탄생시키는 진공 박막 기술이^{1,2)} 가장 주목을 받고 있다.

최근에는 재료 물성적인 관점 외에 환경문제를 발생시키지 않고 자원 절약형 재료 개발 측면에서도 박막기술에 대한 기대가 증가되고 있다. 이는 구성 재료

의 특성이 재료 내부의 특성보다는 그 표면의 재료 특성에 의해 결정되는 경우가 많기 때문이다. 따라서 특성상 유해하거나 자원이 부족한 재료가 필요할 때는 박막 기술을 사용하여 이들 재료의 사용을 표면에만 한정시켜, 모재는 무공해하며 자원이 풍부한 재료로 구성하면 공해 발생을 최소화하고 자원을 절약할 수 있게 된다.

박막 기술의 응용은 안경이나 카메라 렌즈의 반사 방지막 제조를 출발점으로 하여 현재는 반도체 소자(device)를 비롯한 각종 전기전자 재료의 제조기술로 발전되어 왔다.

전자 소자의 고집적화, 고기능화가 진행되고 복잡한 조성을 갖는 박막제도가 요구되어짐에 따라 박막의 두께제어, 성분제어를 용이하게 할 수 있고, 균일성이 우수한 박막을 제조할 수 있는 박막형성기술이 필요하게 되었다. 진공증착법, 화학증착법 등 다양한 진공박막 기술 중 위와같은 성질을 만족시키면서 생산성이 있는 박막 기술로 스퍼터(sputter) 기술을 들 수 있다.

스퍼터 기술에 의한 박막 제조 기술은 현재 각종 전자소자 개발에 있어 가장 핵심적인 기술로 발전되어있다.

따라서 본문에서는 스퍼터 기술에 대한 개요와 고품질 박막 제조를 위한 최근의 연구 동향을

소개하고자 한다.

2. 스퍼터 기술의 개요

2-1 역사적 배경

스퍼터 현상은 우리 주변에서 쉽게 관측할 수 있다. 형광등을 오래 사용하면 양끝 부분이 검게 변하는 것을 쉽게 볼 수 있는데, 이러한 현상은 형광등 수명이 다해짐에 따라 점점 증가한다. 이것은 스퍼터 현상에 의해 생기는 것으로 형광등 방전에 의해 생성된 이온이 필라멘트 전극을 때려, 그 구성원자가 튀겨져 나와 주변의 유리에 부착되는 현상이다.

스퍼터 현상은 19세기에 발견된 이래 바람직스럽지 못한 것으로 취급되었고, 특히 방전관 분야에서는 어떻게 하여서는 방지하고자 하였던 것이다. 그러나 이제는 박막형성기술로서 특히 전자부품이나 소자 개발에 있어 필수 불가결한 기술로 발전되었고, 그 장래성도 매우 밝다.

스퍼터기술의 본격적인 박막술로서의 응용연구는 주로 Bell연구소와 Western Electric사에서 시작하여, 1963년도에는길이 10m에 이르는 연속 스퍼터 장비를 제조하였다. 1966년에는 IBM에서 고주파 스퍼터기술이 발표되어 절연물 박막을 제조하는 것이 가능하게 되어, 기관 종류에 상관없이 그 위에 어떠한 물질도 박막으로 제조할 수 있기에 이르렀다.

최근에는 스퍼터시 압력을 가능한 한 낮춰, 도입 기체의 압력을 0으로 하고자 하는 연구가 진행되고 있다.³⁾

2-2 스퍼터 현상

큰 에너지를 가진 원자가 고체 표면에 충돌하면, 그 원자는 고체 내부로 들어간다. 고체 내부에서는 고체를 형성하고 있는 원자와 충돌하고, 계속해서 원자·원자 충돌을 일으킨다. 충돌에 의해 고체내부의 원자는 여러 방향으로 운동하지만, 그 중에는 고체표면에서 바로 최초의 침입 원자가 날아들어 온 것과 반대 방향으로 튀어나가는 원자가 있다. 이 현상을 스퍼터라 부른다. 스퍼터를 효율 좋게 일으켜 스퍼터 원자를 고체로부터 이탈시켜 기판상에 박막을 형성시키는 것이 스퍼터 장치이다.^{4,5)}

스퍼터의 메카니즘이 명확하게 된 것은 비교적 최근인 1960년대이다. 그 이전에는 원자 또는 이온의 충격이 원인이라고 인정되었지만, 음극 구성물질이 튀어나가는 과정에 대한 설명은 없었다. Von Hippel이 제안한 heatspike 이론에서는 음극에 이온이 충돌하면 매우 좁은 영역이 수천도의 고온으로 되어 원자의 증발이 일어난다고 주장하였지만, 현재는 이 설은 인정되지 않고 있다. 1950년대에서 1960년대에 걸쳐 G. K. Wehner, M. Kaminsky등이 스퍼터에 관한 데이터 수집을 위한 실험을 수행하고, E. B. Fenschke, R.H. Silsbe, P. Sigmund등이 이론 구축을 하였다.^{6,7)}

이온 1개가 타겟에 충돌하였을 때 타겟에서 튀어나오는 스퍼터 원자수의 통계적 확률값을 스퍼터율이라 한다. 스퍼터율은 타겟의 재질, 충격이온의 종류와

표 1. 0.5~10KeV의 Ar이온 충격에 대한 스퍼터율
(단위는 [원자 이온], 또는 [분자/이온])

500 eV				1 keV		1.1 keV			
Be	0.51	Nb	0.60	Ir	1.01	Al	2.0	SiO ₂	0.15
C	0.12	Mo	0.80	Pt	1.40	Fe	1.33	Pyrex 7740	0.15
Al	1.05	Rh	1.30	Au	2.40	Ni	2.21	Al ₂ O ₃	0.05
Si	0.50	Pd	2.08	Pb	2.7	Cu	2.85	10 keV	
Ti	0.51	Ag	3.12	Th	0.62	Mo	1.13		
V	0.65	Sn	1.4	U	0.85	Ag	3.8	Fe	1.0
Cr	1.18	Sm	0.80	PbTe(111)	1.4	Sn	0.9	Cu	4.8~8.0
Fe	0.84	Gd	0.83	GaAs(1010)	0.9	W	0.8	Pd	5.7
Co	1.22	Dy	0.88	GaP(111)	0.95	Au	4.9	Ag	10.4
Ni	1.45	Er	0.77	CdS(1010)	1.12	Pb	3.0	Sn	2.1
Cu	2.55	Hf	0.70	SiC(0001)	0.41			Au	8.8
Ge	1.1	Ta	0.57	InSb'	0.55			NaCl	1.0
Rb	1.15	W	0.57					KCl	1.95
Y	0.68	Re	0.87					LiF	2.15
Zr	0.65	Os	0.87					KBr	0.6

에너지에 따라 변하는 값이다. 또한 타겟의 결정구조, 표면의 결정학적 배향, 이온의 타겟에의 입사각도, 타겟의 온도에 따라서도 달라진다. 대부분의 스퍼터 장치에서는 Ar가스 분위기 중에서 플라즈마를 발생시켜, Ar이온에 의한 스퍼터를 실시한다. 표 1에 500eV~10keV의 에너지를 가진 Ar이온이 충돌할 때 각 원소의 스퍼터율과 이온에너지와의 상관성을 나타내었다.

스퍼터를 효율 좋게 행하기 위해서는, 통상의 스퍼터 장치에서는 그림 1에 나타낸 것과 같이 글로우 방전을 일으켜 플라즈마 중의 양이온을 -전위를 인가한 타겟의 음극강하 영역내에서 가속시켜 충돌을 일으킨다. 음극강하는 보통 400V전후로 이 값에 가까운 에너지를 갖는 이온이 타겟을 때릴 때 튀어나오는 원자도 약 10eV 정도의 에너지를 갖게 된다. 진공증착의 경우 증발한 원자가 가지고 있는 에너지 값은 약 0.2eV 정도에 불과하다. (1eV= 11,600K)

타겟을 때리는 이온의 전류밀도를 $j(\text{mA/cm}^2)$, 타겟 물질의 밀도를 $\rho(\text{g/cm}^3)$, 스퍼터율을 S (원자/이온), 그 원자량을 M 이라 하면, 타겟면에 있어서 에칭 속도 E 는 다음 식으로 주어진다.

$$E=62.3S \cdot jM/\rho \text{ (Å/min)}$$

타겟에서 튀어나온 스퍼터 원자가 기판에 도달할 확률은 타겟과 기판의 기하학적 형상, 상대적 위치 관계와 그 사이 공간에 있어서 스퍼터 원자와 가스 분자의 충돌산란의 영향을 받는다. 막의 성장속도 D 는 비례상수를 F 라 하면 다음 식으로 주어진다.

$$D=FE$$

대부분의 스퍼터 장치에서는 F 값은 0.1~0.5 범위이다.

그림 2. 에 Hg⁺ 이온을 가속 에너지까지 가속시켜, 다결정 Ni 표면에 수직으로 입사시켰을 경우 스퍼터된 원자의 방출 방향을 나타내었다. 실선은 Wehner등의⁸⁾ 실측 결과이고, 파선은 cosine law를(수직에서 스퍼터된 원자의 방출 방향의 각도를 θ 라 하면, θ 방향으로 방출될 확률은 $\cos \theta$

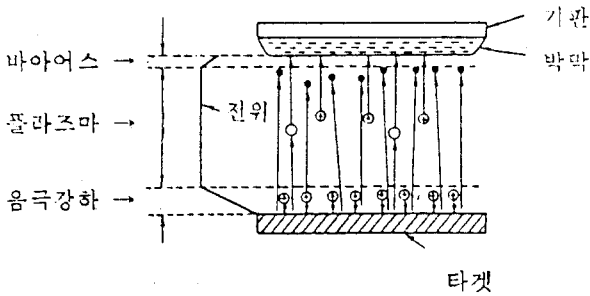


그림 1. 스퍼터의 원리 (⊕: 이온, ○: 고에너지 중성입자
●: 스퍼터 원자

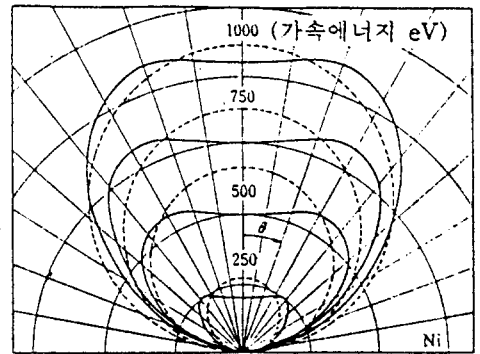


그림 2. 스퍼터된 원자의 방출 방향

에 비례하는 것을 말하는 것으로, 수직방향은 $\cos \theta = 1$ 로 최대, 45° 방향은 $\cos \theta = 0.7$, 평면에 평행한 방향은 $\cos \theta = 0$ 로 최소), 나타내고 있다. 전체적으로 보면 대체적으로 cosine law에 따른다고 보아도 좋다.

박막은 진공공간에 설치된 타겟에서 방출된 원자가 공간을 비행하여 기판에 도달하여 생성된다. 그 성질은, 기판에 도달할 때 원자의 상태, 부착후 받는 각종 에너지와 기판의 성질에 의존한다. 그림 3은 제조 조건과 스퍼터 박막의 구조와의 관계에 대한 Thornton이 제시한 금속박막 미세구조 모델로⁹⁾, 일반적으로 인정되고, 그 이유도 상당히 밝혀졌다.¹⁰⁾ 단 기판온도 T_S [K]는 그 재료의 용점 T_M [K]에 대한 비로서 보편화 되어있다.

Ar가스 압력이 높고, 기판온도가 낮을때 ($T_S / T_M < 0.3$) 발생하는 미세구조가 영역1(ZONE-1)이다. 그림 4은 그 박막의 단면을 나타낸 것으로, 입사원자의 표면확산이 없고, 작은 주상구조(column) 성장하며 컬럼사이에는 간극과 구멍이 있는 결함을 포함한 막이다. 따라서 밀도가 낮고, 전기전도도가 높고, 광에 대한 반사율이 낮

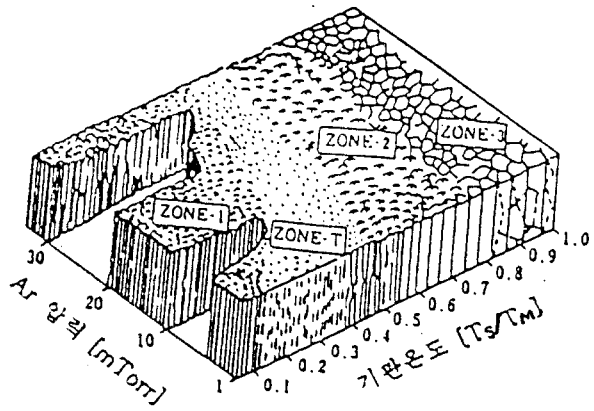


그림 3. 스퍼터박막의 미세구조모델

T_S : 작성시 기판온도[K], T_M : 박막의 용점[K]

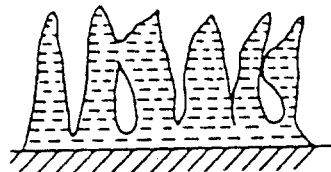


그림 4. 영역 1(ZONE-1)의 단면

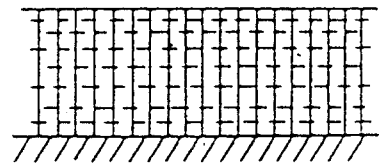


그림 5. 영역 T(ZONE-T)의 단면

은 특성을 가지고 있다. 수증기 등이 넓은 면적에 부착하여 부식이 일어나기 쉬운 막이다.

Ar가스 압력이 낮고, 기판온도도 낮은 ($T_S / T_M < 0.3$) 때 나타나는 미세구조는 그림 5.에와 같이 섬유상의 주상구조이지만, 그 사

이의 간극이 없는 치밀한 막이다. 이영역은 영역1과 영역2 사이에 위치하므로, 영역T, ZONE-T (Transition, 천이영역)이라고 한다. 밀도가 높고, 전기비저항이 낮으며, 또한 반사율이 높다. 그리고 치밀한 막으로 내식성이 뛰

어나다.

기판온도를 올려, $T_s / T_M > 0.3$ 이 되면 그림 6에 나타낸바와 같이 치밀하지만, 영역1이나 영역T에 비하여 grain size가 큰 주상구조로 된다. 박막의 제반 특성은 영역T와 유사하다.

기판온도를 한층 더 올려, $T_s / T_M > 0.5$ 로 되면 나타나는 영역이 그림 7에 나타낸바와 같이 등방적이고, 주상구조는 아니다. T_s 가 용점에 가까워 질수록 벌크와 유사한 상태로 된다.

Thornton의 모델은 각종 금속 박막에 대하여 구한 것이지만, 그 후 각종 유전체 박막에 대하여도 유사한 특성이 있는 것이 확인되었다. 스퍼터 방식이 바뀌면 그림 3의 경계 영역은 바뀌지만 4종류의 미세구조는 얻어진다.

진공증착기술과 비교하여 볼 때 스퍼터 기술의 특징을 열거하면 다음과 같다.

- 박막 제조시 조사하는 고에너지 입자량과 에너지를 적당히 제어함으로써, 벌크재료와는 다른 구조를 갖는 박막, 기판에 부착력이 큰 박막, 치밀한 고밀도 박막을 제조할 수 있다. 원하는 조성비를 갖는 타겟을 사용하면 거의 동일한 조성의 박막을 얻을 수 있다
- 막성장 속도는 스퍼터 전력에 거의 비례하므로, 시간제어만으로 비교적 정밀하게 막두께를 제어할 수 있다.
- 스퍼터는 면소스에 대항하여 성장하므로, 균일성이 좋은 박막을 얻을 수 있고, step 또는 defect coverage가 좋다.
- 산소, 질소등 활성가스를 Ar 가스에 첨가하여, 금속이나 반도체 타겟을 이용하는 반응성 스퍼터에(reactive sputter) 의해 산화물이나 질화물과 같은 박막을 제조할 수 있다.

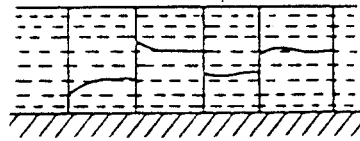


그림 6. 영역 2(ZONE-2)의 단면

- 타겟의 수명이 비교적 길고, 연속운전에 적합하다.
- 고주파를 이용한 RF(Radip frequency)스퍼터로 유전체 박막을 용이하게 만들 수 있다.

그러나 이상과 같은 장점에도 불구하고, 전자부품과 소자 고집적화, 미세화가 진행됨에 따라 요구되어지는 결함이 없고, 균일성이 우수한 고품위의 박막을 스퍼터로 제조하려면 다음과 같은 문제를 해결하여야 한다.

통상의 스퍼터 장비에서는 기판은 플라즈마에 노출되어 있어, 즉 박막이 전자, 이온에너지 및 조사 밀도에 의해 영향을 크게 받는다. 또한 스퍼터 원자이외에 음극(타겟)에 충돌하는 Ar^+ 이온이 충돌 직전에 음극표면에서 방출되는 2차 전자를 받아 중성화되어, 음극타겟과 충돌하기 전에 반발하여 전장의 영향을 받지 않고 박막 증착중에 기판에 충돌(고에너지 중성입자 : Ar)하는 것과 타겟에서 방출하는 음이온(특히 산소 음이온)이 음극 근방에서 가속되어 음극에 인가되는 전압에 해당하는 (보통 350 ~ 450 eV) 에너지를 가지고 기판에 충돌하기 때문에 기판에 증착된 박막을 resputtering하여 박막 손상의 원인으로 작용한다.^{11,12)} 따라서 스퍼터 방식과 고품위 박막 제조를 위한 최근의 연구동향을 소개하고자 한다.

2-3 스퍼터 방식

스퍼터에는 여러 가지 방식이 있는데, 그것을 분류하는 방법은

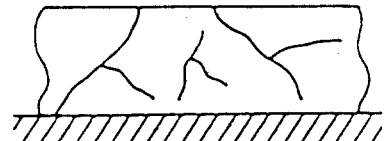


그림 7. 영역 3(ZONE-3)의 단면

크게 다음의 2가지가 있다.

- 방전방식 및 이온가속 방법에 의한 분류
- 스퍼터 장치를 사용하여 여러 가지 박막을 만들 때 사용되는 다양한 기술적 고안에 의한 분류

방전방식과 이온가속 방법은 주로 전극의 구조에 의해 결정되는데, 표 2에 방식의 종류, 스퍼터 작동시 전기적 조건, 작업 진공도, 특징 및 장치 구조의 개략도를 나타내었다.

기술적방법에 의한 분류는 비대칭 교류 스퍼터, 바이어스 스퍼터, 동시 스퍼터, self 스퍼터, 반응성(reactive) 스퍼터 등이 있다. 이들중 바이어스 스퍼터, 반응성 스퍼터 및 self 스퍼터에 대하여 간략히 설명을 해보기로 하자.

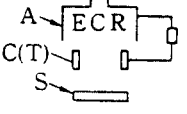
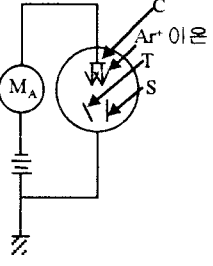
- 바이어스 스퍼터²⁰⁾ : 기판 홀더에 DC 또는 RF전압을 인가하면서 박막을 형성시키는 방법으로 막 형성중 기판측에도 이온 충격을 받는데, 이온 충격의 효과로는

① 막표면의 약한 흡수 불순물 가스분자 만을 선택적으로 제거하여 막의 순도를 향상시킬 수가 있고, O^2 이온과 전자들이 기판에 걸린 -바이어스에 의해 기판에서 멀어지므로, 박막내에 혼입되는 산소의 양을 감소시킬 수 있다. 산화되기 쉬운 원소의 스퍼터(Ta, Mo, Nb, Cr, Rare earth 원소)에서는 필수적이다.

② 다원 성분의 막을 형성하는 경우 각 성분은 스퍼터율이 다르므로 바이어스 전압을 조절함으

표 2. 방전방식 및 이온 가속 방법에 의한 스퍼터 방식 분류

	스퍼터 방식	스퍼터 전압전류	아르곤 압력 [Pa(Torr)]	특 징	모 형 도	문헌
1	2극스퍼터	DC 1~7kV 0.15~1.5mA/cm ² AC 50~60Hz RF 0.3~10kW 1~10W/cm ² 13.56MHz	1 (×10 ⁻²) RF 경우 1×10 ⁻¹ (10 ⁻² ~10 ⁻³)	구조 간단. 넓은 기판에 균일한 박막을 만들 때 좋다. 방전전류는 압력과 전압에 따라 변한다. DC·AC 방식에서는 전도성 재질의 타겟만을 사용할 수 있으나, RF 방식에서는 알루미늄 등 절연물 타겟도 사용 가능하다.		13
2	3극 또는 4극 스퍼터	DC 0~2kV RF 0~1kW	6.7×10 ⁻² ~ 1.3×10 ⁻¹ (5×10 ⁻⁴ ~ 1×10 ⁻³)	저압력, 저전압방전, 전류와 타겟을 충격하는 이온에너지를 독립적으로 제어 가능하다. 타겟 전류자동제어 가능하다. RF 스퍼터도 가능. 3극 방식에서는 열전자 방출 필라멘트 음극·양극 사이에서 방전을 일으키고, 4극 방식에서는 음극·양극 사이에 안정화 전극을 설치한다.		14
3	마그네트론 스퍼터	0.2~10kV 3~30W/cm ²	10~10 ⁰ (~10 ⁻¹ ~10 ⁻⁸)	전자가 전계와 자계에 직교하는 방향으로 속박되어 원궤적을 따라 drift운동을 한다. 전자 충격에 기인하는 기판온도 상승이 억제됨. 또한 막성장 속도가 크다. 최근 10 ⁻⁶ Pa (10 ⁻⁸ Torr) 라는 저압화가 실현되었다.		15
4	대향타겟 스퍼터	0.2~1kV 3~30W/cm ²	~10 ⁻³ (~10 ⁻⁵)	기하학적으로 한쌍의 대칭인 평행평판을 서로 마주보게 설치하여 -전위를 인가한다. 각각의 전극 뒤에 자석을 설치하여 전극면에 수직인 자계를 발생시켜 방전을 유지시킨다. 기판이 자장의 바깥쪽에 있어 각종 damage를 피할 수 있다. 마그네트론 스퍼터에서 문제가 되는 강자성체 타겟의 스퍼터에 적합하다.		16

5	ECR 스퍼터	0~수kV	2×10^{-2} ($\sim 10^{-4}$)	2.45GHz의 마이크로파 전력을 cavity 도입하면 ECR 조건을 (Electron Cyclotron Resonance) 만족하는 875G의 자계 하에서 발생시킨 ECR 플라즈마를 이용하여 고진공에서 각종의 스퍼터가 가능. 타겟은 cavity내벽 또는 출구에 설치한다.		17
6	이온빔 스퍼터	0~2kV 0.5~2.5kV 10~50mA (이온전압전류)	$\sim 10^{-3}$ ($\sim 10^{-5}$)	글로우 방전 스퍼터와는 달리 스퍼터실과 +이온 발생실이 분리되어 있다. 이온빔은 빔에 대하여 경사지게 설치된 타겟에 입사하여 타겟을 스퍼터한다. 타겟에 -전위를 걸지않고 고순도 박막을 제조할 수 있는 특징이 있다.		18
7	자계압착형 스퍼터	0.2~10kV 3~30W/cm ²	$10 \sim 10^{-6}$ ($\sim 10^{-1} \sim 10^{-8}$)	마그네트론 음극 표면에 있어 플라즈마 밀도의 불균일 분포와 그것에 기인한 타겟의 불균일 소모를 개량하기 위하여 음극 외부에 영구자석이나 전자석을 설치하여 자계 분포를 변화시킨다.		19

* C: Cathode, A: Anode, S: Substrate, T: Target, ST: Stabilize Electrode, MA: Magnet, B: 자기장, E: 전기장

로서 조성제어도 가능하며,

③ 막표면의 1 μ m 정도의 요철을 평탄하게 할 수가 있어 step coverage를 향상 시키고, 미소 구멍을 메워 평탄성이 우수한 박막을 제조 할 수 있다.

· 반응성 스퍼터²¹⁾ : 통상의 스퍼터에서는 Ar가스 분위기 중에서 방전을 일으키는데, Ar는 불활성이므로 타겟 표면에서도 기판 표면에서도 타겟 원자와 화학반응은 일으키지 않는다. Ar에 활성인 가스를 첨가하여 스퍼터를 행하면,

가스와 타겟 원자와의 혼합물 또는 화합물이 얻어진다. 의도적으로 이와 같은 방법으로 박막을 제작하는 것을 반응성 스퍼터라 부른다. 다원소 타겟을 이용하거나, 여러개의 타겟상에 다른 물질의 타겟을 사용하면 복잡한 조성의 박막을 제조 할 수 있다. 공업적으로는 Ta-N 저항박막, ITO (Indium Tin Oxide), Fe-O 자기기록박막 제작에 사용된다.

· Self스퍼터²²⁾: Ar가스 압력을 0으로 하고, 스퍼터 할 경우 스

퍼터된 금속(Cu와 Ag만 가능) 자신이 이온화되어 타겟에 되돌아와 self 스퍼터를 하게 된다. 결국 Ar가스 대신에 스퍼터된 금속원자 자신에 의해 스퍼터가 지속된다.

3. 고품위 박막제조 연구동향

플라즈마 중에서 생성된 이온의 운동 에너지는 재료의 표면상에서 물리적, 화학적 반응을 조장시키는 것이 가능하므로, 플라

즈마를 이용한 박막제조 공정은 공정온도의 저온화를 실현하는데 있어 매우 유효하다. 그러나 통상 이용되는 플라즈마 스퍼터 장치에서는 이온 조사에너지나 이온 조사밀도 등 플라즈마 파라미터를 직접 제어하는 것은 불가능하고, 스퍼터 전력, 가스 압력 등 외부 파라미터만을 제어 할 수밖에 없다. 저온 공정으로 고품질의 박막제조를 하기 위하여는 이들 공정 파라미터를 정밀하게 제어하는 것이 요구되어지고 있다. 진공 중에서 일어나는 대부분의 공정은 표면의 1 원자층 만이 반응에 관여하는 것으로 알려져 있고, 또 수eV~수십eV의 에너지를 가지는 이온은 금속, 반도체, 절연물에 관계없이 표면의 1, 2 원자 층에서 전 에너지를 잃어버린다. 따라서 저온 공정을 실현하기 위하여는 열 에너지 대신에 이온 조사에 따르는 운동에너지를 이용하는 플라즈마 공정이 불가피 한데, 기관에 손상을 주지 않고 1 원자층을 활성화 할 수 있는 제어된 저에너지 고밀도의 이온 조사가 필요하게 된다.

여기서 각종 스퍼터법의 저에너지화에 의한 공정의 저온화를 통한 고품질화 박막제조 사례에 대하여 알아보기로 하자.

1. 4극 스퍼터법에 의한 Au-CH 나노 복합박막 제조²³⁾

4극 스퍼터 장치에서는 플라즈마 발생에 필요한 전력과 스퍼터를 일으키는데 필요한 타겟 전압을 독립적으로 제어가 가능하기 때문에 타겟을 충격하는 이온 전류와 이온 에너지를 독립적으로 제어 할 수 있다. 통상의 스퍼터 장치에서는 타겟에 걸리는 전압이 300V 이상이나, 4극 스퍼터 장치에서는 스퍼터가 가능한 에너지 한계에 가까운 50V 이하에서

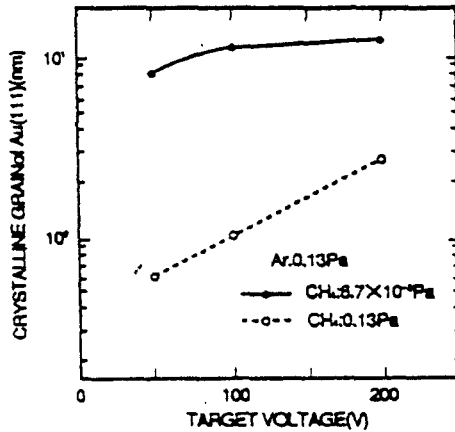
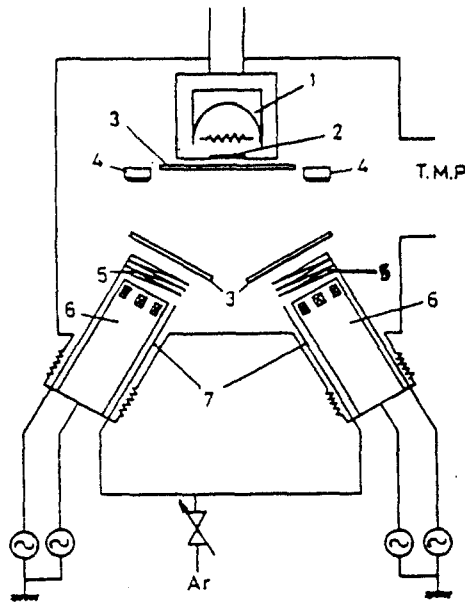


그림 8. CH₄ 분압과 Au의 결정립 크기와의 관계



- 1: Substrate heater
- 2: Substrate
- 3: Shutter
- 4: Thickness monitor
- 5: rf coil
- 6: Cathode
- 7: Gas nozzle

그림 9. Helicon 스퍼터 장치의 개략도

도 충분히 스퍼터를 실시 할 수 있다.

4극 스퍼터 장치로 Au 타겟을 사용하여 고순도 Ar가스와 CH₄ 가스와의 분압비를 변화시키면서 300V에서 50V의 스퍼터 전압을 변화 시키면서 Au-CH계 복합박막을 제조하였을 때 그림 8.에 나타냈듯이 CH₄ 분압이 6.7 × 10⁻² Pa인 경우 결정립의 크기는 Vt에 거의 의존하지 않고 10nm 정도이지만, 0.13 Pa에서는 Vt 감소에 따라서 2.6nm에서 0.6nm 까지 감소한다.

2. RF·DC결합형 바이어스 스퍼터법에 의한 Si의 저온 epitaxial성장²⁴⁾

운동에너지를 가지는 이온을 성장막 표면에 조사하는 것에 의해 성장막 표면이 항상 활성화되어 퇴적원자의 migration이 촉진되어 epitaxial 성장의 저온화를 실현할 수 있다. 그러나 이온 조사는 에너지가 너무 크면, 결정을 파괴시키고 말기 때문에 이온의 에너지와 조사량을 정밀하게 제어하는 것이 중요하다. RF-DC 결합형 스퍼터 장치에서는 RF전력을 이용하여 플라즈마를 발생시키고, 그 밀도를 제어하고, 기관에 입사하는 Ar이온의 에너지는 기관에 인가하는 DC바이어스에 의해 제어한다. 따라서 이온의 밀도와 에너지를 정밀하게 제어할 수 있다. 이 장치에 의해 Si의 저온 epitaxial성장을 실현시킬 수가 있다.

3. Helicon 스퍼터법에 의한 저온 epitaxial성장²⁵⁾

그림 9.에 나타낸 Helicon 스퍼터 음극은 RF코일에 의한 방전 유지 형식을 채용하기 때문에 기관 위치에 관계없이 음극 근방에서 방전의 국제화가 가능하고 5 × 10⁻² Pa의 저압력 까지 방전이 유지되기 때문에 기관-타겟 사

이의 거리를 길게하여 MBE와 같은구성이 가능하게 된다.

이들 장치에 의해 Si(111)기판상에 400°C에서 Al막의 epitaxial 성장이나 AlN의 C축 배향막을 제조할 수 있다.

4. 이온빔 스퍼터법에 의한 고품성 박막 제조²⁶⁾

이온빔 스퍼터법은 일반 플라즈마법에 비하여 박막 형성 속도는 2 order 정도 낮지만, 막이 형성되는 부분의 압력이 2 order 정도 낮기 때문에 기판온도가 거의 상승하지 않는다. 또한 이온 발생, 이온가속, 스퍼터, 막형성 과정이 완전히 분리되어 일어나므로, 막형성 조건에 필요한 요소들을 독립적으로 제어할 수 있다.

타겟이나 기판이 플라즈마에 노출되지 않으므로 타겟에서 돌발적인 이상 방전이나 막표면이 손상을 거의 받지 않는 고품성 박막을 제조할 수 있다.

복수의 이온 소스에서 고품도 이온빔을 별도로 각각의 타겟에

조사하여 동일 기판상에 미세구조가 잘 제어된 복합 다층막을 제조할 수 있기 때문에, 저온에서 양질의 산화물 초전도박막 형성에 이용되고 있다. 그 외에 Si-C박막의 저온 합성, MoS₂ 박막에 있어 결정구조의 제어 등에도 사용되고 있다.

5. 강자장·저전압 스퍼터법에 의한 초저저항 투명전도성 박막 제조²⁷⁾

산화물 박막 제조시 타겟에 걸리는 전압에 상당하는 에너지를 가지고 타겟에서 튀어나오는 산소 음이온이 기판에 충돌하여 막손상을 일으킨다. 이를 방지하기 위하여는 가능한한 타겟에 걸리는 바이어스값을 낮추어야 한다.

마그네트론 스퍼터에 있어 자장강도를 통상의 200~300G 보다 훨씬 높은 1000G 까지 높이는 것에 의해 스퍼터 전압을 400V에서 250V까지 낮추는 것이 가능하게 되었고, 여기에 RF전압을 중첩시킴으로서 막 형성 속도를 감소시키지 않고 스퍼터 전압

을 110V 까지 낮출 수 있게 되었다. 그림 10. 에 저전압 스퍼터법으로 제조된 ITO(Indium Tin Oxide)박막의 스퍼터 전압과 비저항 사이의 관계를 나타내었다. 칼라액정용 ITO에 대응한 조건인 200°C에서는 400V에서 비저항값이 $4 \times 10^{-4} \Omega\text{cm}$ 이지만 스퍼터 전압을 110V까지 낮추면 비저항값은 $1.3 \times 10^{-4} \Omega\text{cm}$ 라는 초저저항 박막이 얻어진다.

6. Unbalanced 마그네트론 스퍼터법에 의한 고품위 박막 제조^{28,29)}

Unbalanced 마그네트론 스퍼터 장치는 그림 11.에 나타낸 것과 같이, 타겟의 내측과 외측에 있어 자속강도비를 변화시키는 것에 의해 평판 마그네트론 방전에 의해 형성된 플라즈마 상태를 제어하는 것이다. Unbalanced 마그네트론 스퍼터법으로 ITO 투명전도박막을 제조하므로써, 통상의 마그네트론 스퍼터시 발생하는 타겟의 국부적인 erosion으로 되므로써 여기에 대응하는 기

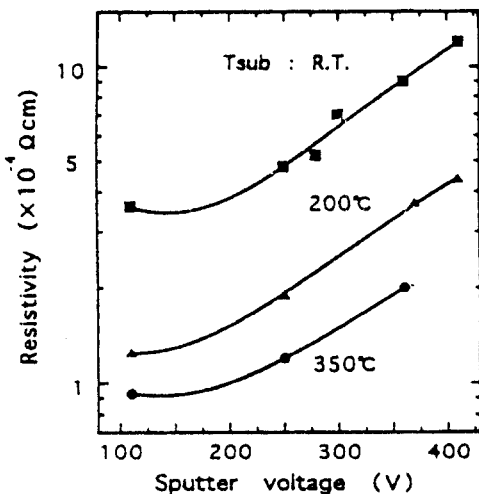


그림 10. ITO 박막의 스퍼터 전압과 비저항과의 관계

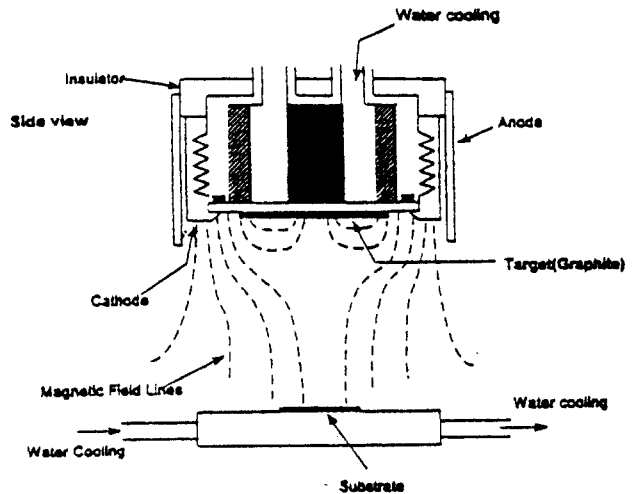


그림 11. Unbalanced 마그네트론 스퍼터 장치구조

판 부위에 국부적으로 고에너지 O⁺ 이온 혹은 O 원자의 충돌을 방지하여 위치에 따른 박막 두께 및 전기적 성질의 불균일성을 개선시켰으며, 비저항값이 1.3~1.5×10⁻⁴ Ωcm 인 박막을 제조할 수 있다. 또한 이 장치를 이용하여 BN 박막 제조되고 있고, 조건을 조절하는 것에 의해 c-BN 박막 제조도 가능하다

4. 결 론

스퍼터 기술에 의한 박막 제조 기술은 현재 각종 전자소자 개발에 있어 가장 핵심적인 기술로 발전되어 왔다,

그러나 전자 소자의 고집적화, 고기능화가 진행되고 복잡한 조성을 갖는 박막제조가 요구되어짐에 따라 박막의 두께제어, 성분제어를 용이하게 할 수 있고, 균일성이 우수한 고품질의 박막을 제조 및 공정의 저온화를 할 수 있는 박막형성기술 개발의 필요성에 따라 각종 새로운 기술이 연구되어지고 있다. 향후 각종 공정 요소를 독립적으로 제어와 성막중 분위기 제어를 보다 정밀하게 할 수 있는 기술의 개발이 요구된다.

참 고 문 헌

1. K. L. Chopra : Thin Film Phenomena, McGraw-Hill, 51, 1969
2. 三好徳亨 : 超高温研究, 10, 9, 1973
3. 麻蒔 : 月刊 Semiconductor World, 88, 1994
4. L. I. Maissel : The Deposition of Thin Films by Cathode Sputtering, G. Hass & R. E. Thun, eds., Physics of Thin Films vol. 3, Academic Press, 1962
5. J. Vossen and W. Kern eds.: Thin Film Processes, Academic Press, 1978
6. G. K. Wehner : Sputtering by Ion Bombardment, Advance in Electronics and Electron Physics vol. 7, Academic Press, 1955
7. M. Kaminsky : Atomic and Ionic Impact Phenomena on Metal Surfaces, Springer-Verlag, 1965
8. G. K. Whner and D. Rosenbery: J. Appl. Phys. 31, 177, 1981
9. J. A. Thornton : J. Vac. Sci. T., 11, 666, 1974
10. J. A. Thornton : J. Vac. Sci. T., A4(6), 3059, 1986
11. K. Tominaga, T. Yuasa, M. Kume and O. Tada, Jpn. J. Appl. Phys., 24(8), 944, 1985
12. K. Tominaga, Y. Shintani, 應用物理, 62(12), 1230, 1993
13. Q.S. Bulter and G. S. Kino : Phys. Fluids., 6, 1364, 1963
14. 織田善次郎, 麻蒔立男, 牟田弘樹, 溝延孝夫 : 應用物理, 36, 281, 1967
15. J. A. Thornton : J. Vac. Sci. T., 15, 171, 1978
16. V. Hoshi, M. Naoe and S. Yamanaka : Jpn. J. Appl. Phys., 16, 1715, 1977
17. 松岡茂登, 小野堅一 : 應用物理, 57, 1301, 1988
18. 小川倉一 : 表面, 29, 681, 1991
19. T. Hata and Y. Kamide : J. Vac. Sci. T., A5, 2154, 1987
20. D.A. Mclean, N. Schwartz and E. D. Tidd : Proc IEEE, 52, 1450, 1964
21. L. I. Maissel and P. M. Schaible : J. Appl. Phys., 36, 237, 1965
22. T. Asamaki et al : Jpn. J. Appl. Phys., 33, 2500, 1994
23. 小川倉一 : オプトニクス, 6, 19, 1994
24. T. Ohmi et al. : J. Appl. Phys., 69, 2062, 1991
25. 天野公夫 : ULVAC TECHNICAL JOURNAL, 42, 26, 1995
26. 小川倉一 : 表面 29, 681, 1991
27. 石橋曉他 : ULVAC TECHNICAL JOURNAL, 43, 5, 1995
28. 신성호, 김현후 : 응용물리, 10(5), 453, 1997
29. S. H. Shin, J. H. Shin. K. J. Park and H. H. Kim Thin Solid Films, 1998 (accepted)

< 김현후 위원 >