

## 박막제조 기술의 동향과 전망

정재인\* · 양지훈

포항산업과학연구원 융합소재연구본부, 경북 포항시 남구 효자동 산32번지

(2011년 9월 29일 받음, 2011년 10월 17일 최종수정본 받음, 2011년 10월 17일 게재확정)

박막제조 기술은 과학 기술의 기초가 되는 분야로 양질의 박막을 제조하기 위한 다양한 노력이 경주되고 있다. 박막제조는 표면개질과 함께 표면처리 기술의 한 분야이며 이중 진공증착으로 알려진 물리증착법과 화학증착법은 현대의 과학기술 연구는 물론 산업적으로 폭넓게 이용되는 박막제조 기술 중의 하나이다. 진공증착을 이용한 박막제조 기술은 나노 기술의 등장과 함께 비약적인 발전을 이루었으며 자연모사와 완전화 박막의 제조, 융복합 공정을 이용한 기능성 코팅과 Engineered Structure 구현 그리고 초고속 증착과 원가 저감 기술의 실현이 주요 이슈로 등장하고 있다. 본 논문에서는 물리증착법과 화학증착법을 중심으로 박막제조 기술의 종류와 원리를 설명하고 박막제조 기술의 최신 동향과 기술적 이슈 및 향후 전망에 대해 기술한다.

**주제어** : 박막, 물리증착, 화학증착, 자연모사, 스퍼터 증착, 전자기 부양 증발원

### I. 서 론

박막제조 기술은 과학기술의 기반이 되는 기술이며 따라서 많은 연구가 박막을 이용하여 이루어지고 있다. 박막제조 기술은 소재의 성능을 향상시키거나 소재에 부가적인 기능을 부여하는 표면처리 기술에 바탕을 두고 있다. 표면처리는 크게 박막제조와 표면개질로 구분되는데 박막제조는 소재의 표면에 다른 물질을 코팅하는 것을 의미하며 표면개질은 질화나 이온빔 조사 등을 통해 소재의 표면을 변화시켜 성능을 향상시키는 기술을 의미한다[1, 2].

박막제조 기술 중 진공증착은 물리증착(Physical Vapor Deposition; PVD)과 화학증착(Cheical Vapor Deposition; CVD)으로 구분되는데 1950년대 이후 전자기 재료를 중심으로 응용이 시작되어 비약적인 발전을 이루었으며 현재는 반도체나 디스플레이를 비롯한 각종 소재의 표면처리에 다양하게 응용되고 있다.

진공증착 공정 연구는 주로 피막의 조직제어 연구가 주를 이루었는데, 1980년대까지는 증착변수에 의한 조직제어 연구가 활발히 이루어져 소위 조직대 모델(Structure Zone Model; SZM)이 완성되었다[3, 4]. 조직대 모델은 초기에는 기판의 온도에 따른 박막의 조직 변화를 모델화하였으나 나중에는 바이스 전압이나 진공도에 따른 조직의 변화를 모델화하는 시도가 이루어 졌다. 그 이후 막의 두께나 Impurity의 영향은 물론 증기의 입사각 조절에 의한 조직의 변화 연구가 활발히 진행되었고[5, 6], 최근에는 FVA(Filterd Vacuum Arc)나 HIPIMS(High Power Impulse Magnetron Sputtering)와 같

은 고에너지를 가진 입자를 이용한 코팅 기술이 발달하면서 입사이온의 에너지에 따른 조직대 모델이 개발되기도 하였다 [7].

1990년대에는 나노기술의 등장과 함께 박막제조에서도 조직의 미세화 및 나노화 연구가 활발히 진행되었다. 그러다가 2000년 이후에는 나노 박막을 이용한 복합 구조화 연구가 시작되었고 현재도 이러한 복합구조화 연구가 활발히 진행되고 있다. 이들 복합구조화 연구는 자연모사 기술과 완전화 박막을 얻고자 하는 연구로 이어지고 있다.

복합구조화 공정과 함께 2000년 이후 새롭게 진행되고 있는 연구가 빗각 증착(Oblique Angle Deposition; OAD)과 이를 응용한 스퍼터 증착(Glancing Angle Deposition; GLAD) 기술이다[8-10]. 빗각 또는 스퍼터 증착은 입사 증기가 기판에 수직으로 입사하지 않고 비스듬히 입사하도록 조절하여 코팅하는 물리증착 기술의 하나로 피막의 조직을 다양하게 제어할 수 있는 방법으로 알려져 있다.

본 논문에서는 박막제조 기술 중에서 건식코팅(Dry Coating)으로 알려진 진공증착에 의한 박막제조 기술 즉, PVD와 CVD에 중점을 두고 박막제조 기술의 동향과 주요 이슈 및 전망에 대해 알아보하고자 하였다.

### II. 박막제조 기술의 분류와 원리

소재의 표면을 변화시켜 궁극적으로 소재의 특성을 향상시키거나 소재에 부가적인 특성을 부여하는 기술을 총칭하여 표면처리 기술이라 부른다. 표면처리는 소재의 표면에 특성이 다른 물질을 코팅하는 박막제조 기술과 표면의 성분이나 조직을 변화시켜 새로운 특성을 부여하는 표면개질 기술로 크

\*Tel: (054) 279-6702, E-mail: jijeong@rist.re.kr

**Table I.** Classification of surface treatment technology.

구분	주요 공정
박막제조	· 진공증착: PVD 및 CVD
	· 플라즈마 중합(Polymerization)
	· 용사
	· 도금
표면개질	· 열화학 공정: 질화, 플라즈마 열처리 등
	· 이온빔 표면개질: Omplantation, Mixing
	· 레이저 및 전자빔 표면개질
	· 도핑

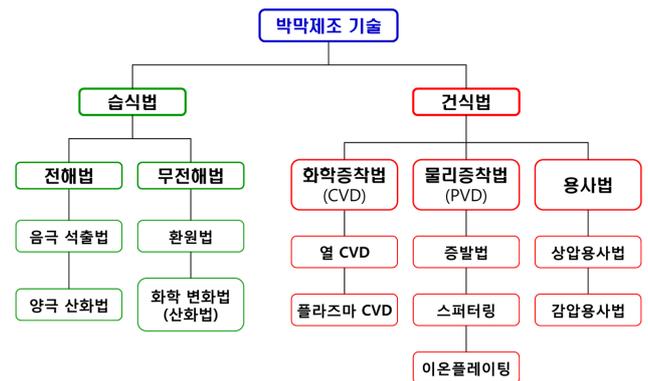
게 분류할 수 있다. Table I은 표면처리 기술을 박막제조와 표면개질 기술로 분류하여 나타낸 것이다.

박막제조 기술은 진공증착과 플라즈마 중합 및 용사와 도금 등의 기술이 있고, 표면개질 기술은 질화나 탄화 또는 플라즈마 열처리 등으로 대별되는 열화학적 공정과 이온빔 및 레이저 그리고 전자빔에 의한 표면개질 기술과 도핑 등이 포함된다. 이온빔 표면개질에는 Ion implantation과 Ion beam

mixing으로 구분되며 Ion beam polishing도 포함된다.

박막제조 기술은 전통적으로 습식법과 건식법으로 구분하는데, Fig. 1은 박막제조 기술을 전통적인 방법으로 구분하여 분류한 것이다. 습식법은 전해법과 무전해법으로 구분되고 건식법은 PVD와 CVD 그리고 용사법으로 구분된다. PVD는 다시 증발법과 스퍼터링 그리고 이온플레이팅으로 나뉘고 CVD는 열 CVD 및 플라즈마 CVD로 나뉜다.

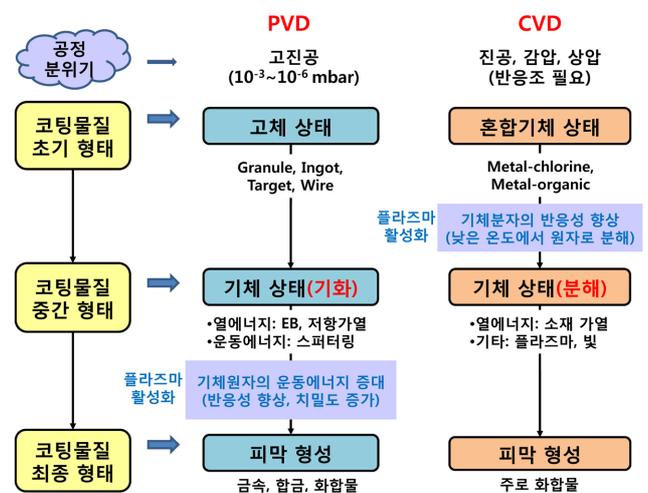
Fig. 2는 PVD와 CVD의 피막 형성 원리를 도식적으로 나타낸 그림이다. PVD는 고진공 분위기에서 고체상태의 물질을 열 또는 운동에너지에 의해 증기로 만들어 기판에 피막을 형성하는 방법으로 생성된 증기를 플라즈마를 이용한 활성화를 통해 반응성을 향상시키는 방법으로 피막의 특성을 향상시키는 것이 가능하다. CVD는 진공 또는 저압의 불활성 기체 분위기에서 금속염이나 금속을 함유한 고분자 물질을 열이나 플라즈마 또는 빛 등으로 분해하여 원하는 성분을 기판에 성장시키는 방법이다. CVD는 PVD와는 달리 혼합기체 상태에서 플라즈마 활성화를 통해 분해속도를 향상시키는 방법이 이용된다. PVD는 금속이나 합금 또는 화합물 피막을 형성하는 것이 가능하며 CVD의 경우는 주로 화합물 피막을 제조하는데 이용된다.



**Fig. 1.** (Color online) Classification of thin film process.

### III. 진공증착에 의한 박막제조 기술의 동향

진공증착에 의한 박막제조는 공정이 이루어지는 순서에 따라 소재기술과 공정기술 및 응용기술로 구분할 수 있다. 소재기술은 박막을 제조하기 전에 이루어지는 모재(기판)의 준비 공정에 관한 것으로 기판 표면의 연마나 청정 기술과 관련된 것이다. 또한 어떤 소재를 사용할 것인가 즉, 단결정이나 다결정이나 등의 여부에 따라서도 구분할 수 있다. 공정 기술은 어떤 증발원을 사용하고 어떤 공정을 이용하느냐에 관한 것으로 박막제조 기술은 이러한 공정기술로 구분하는 것이 일반적이다. 한편, 응용기술은 어떤 기능을 구현하여 어떤 분야에 적용할 것인지에 따라 구분되는 기술이다. 이러한 응용기술은 기능에 따라 화학적 기능, 기계적 기능, 광학적 기능, 전기적 기능 및 장식성 기능 등으로 구분할 수 있다.



**Fig. 2.** (Color online) Principle of thin film formation by PVD and CVD.

#### 1. 소재 가공 및 청정 기술

진공증착 공정에서는 소재(기판)의 선정과 가공 및 청정 (Cleaning) 기술이 중요하다. 특히 기판의 청정은 박막의 밀착력에 가장 큰 영향을 주며 따라서 제품의 특성과 수명을 결정하는 중요한 인자이다. 진공증착 공정에서의 기판의 청정은 진공 용기에 장입하기 전에 오일과 같은 불순물을 제거하는 전처리 공정과 진공용기에서 이루어지는 산화막 제거 공정으로 구분할 수 있다. 산화막 제거에는 일반적으로 글로 방

전을 이용하는 경우가 많았으나 현재는 에칭 속도를 대폭 향상시킨 역 마그네트론(Inverse magnetron) 방식의 플라즈마 소스와 고밀도 선형 이온빔 소스 등이 실용화되어 폭넓게 이용되고 있다.

2. 증발원 및 공정 기술

증발원은 고상의 물질을 기상으로 증기화하는 장치로 가열을 이용한 열증발원과 운동량 전달에 의해 증기화시키는 스퍼터링 증발원 그리고 아크에 의해 증기를 발생시키는 아크 증발원으로 나눌 수 있다. Fig. 3은 다양한 증발원의 사진 또는 개략도를 나타낸 것이다. 증발원은 궁극적으로 코팅공정과 연관되어 있으며 제품의 특성 향상을 위해 중요한 요소 기술의 하나이다. 증발 공정에 사용되는 열 증발원은 저항가열 증발원과 전자빔 증발원, 유도가열 증발원이 있고 1980년 이후 등장한 레이저빔 증발원이 있다[11-15].

저항가열 증발원은 전통적으로 거울과 같은 광학부품의 제조와 포장지의 반사막 또는 배리어(Barrier) 코팅 등에 이용되었고 최근에는 모바일 부품과 같은 소형 부품의 금속 증착이나 장식성 외관 코팅에 널리 이용되고 있다. 유도가열 증발원은 고주파 전원을 이용하여 금속을 용융 및 증발시키는 것으로 대용량 증발에 주로 이용된다. 전자빔 증발원은 산화물 증발이 가능하여 광학이나 디스플레이용 소형 윈도우 부품의 무반사 코팅에 주로 이용되며 롤투롤(Roll-to-Roll) 설비나 연속코팅 설비(In-line coating system)와 같은 고속 및

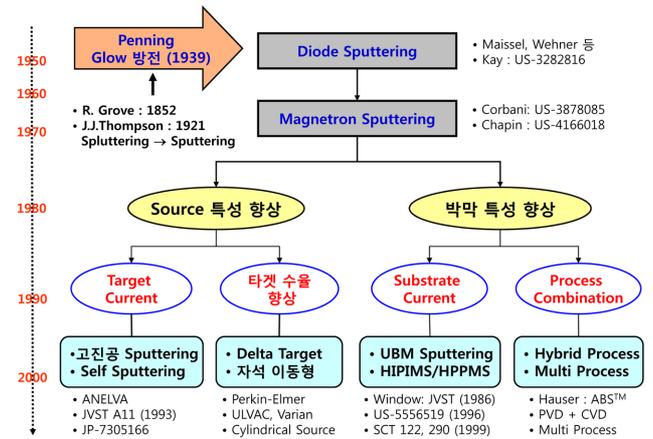


Fig. 4. (Color online) Technical progress in sputtering technology [17-20].

대용량 증발이 요구되는 설비에서도 널리 이용되고 있다[16]. 스퍼터링 공정에 이용되는 스퍼터링 증발원은 디스플레이용 투명도전막 제조에 이용되는 등 산업 현장에서 가장 널리 이용되고 있다. Fig. 4에 스퍼터링 기술의 발전 현황을 연대별로 구분하여 나타내었다. 스퍼터링은 1939년에 발견된 Glow 방전에 기초를 두고 있으며 초기에 이극 또는 삼극 스퍼터링이 사용되다가 1970년대에 마그네트론 스퍼터링이 등장하면서 스퍼터링 기술의 표준으로 자리 잡고 있다. 마그네트론 스퍼터링은 크게 소스 특성 향상과 박막 특성 향상의 2 가지 방향으로 기술개발이 이루어졌다.

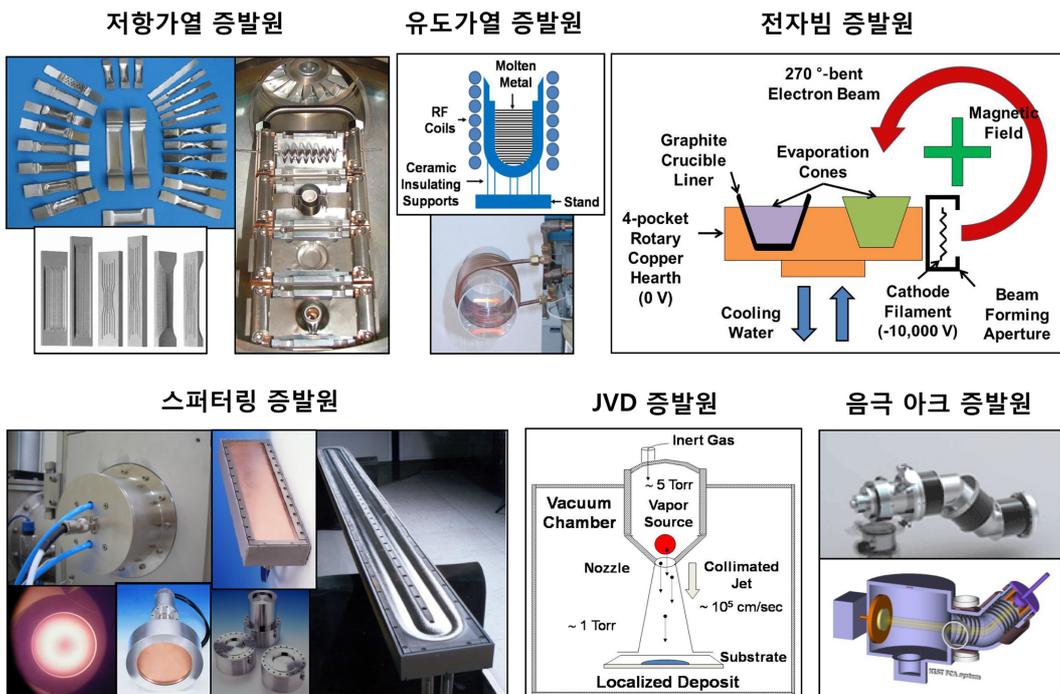


Fig. 3. (Color online) Various types of deposition source used for PVD process.

소스 특성 향상은 증발율의 향상과 타겟(Target)의 사용량(수율)을 증가시키기 위한 연구로 분류된다. 증발율 향상에 있어서는 고진공 스퍼터링과 함께 불활성 가스를 사용하지 않고도 스퍼터링이 가능한 자기 스퍼터링(Self-sustained sputtering) 기술이 개발되어 Cu, Ag 및 Au와 같은 스퍼터율이 높은 대부분의 물질에 대해서는 성공하였다[17]. 타겟 수율 향상에 있어서는 영구자석의 형태를 변화시켜 타겟의 수율을 향상시키거나 자석을 회전 또는 좌우로 연속적으로 이동시킴으로써 타겟 표면 전체를 이용하는 방법 등이 개발되어 있다.

박막 특성 향상 관련 연구는 이온화율 향상을 통한 기판전류밀도 증가 기술과 복합공정 기술로 구분할 수 있는데, 기판전류밀도 증가에서는 마그네트론을 변형한 비평형 마그네트론(Unbalanced Magnetron; UBM) 스퍼터링 기술이 1980년대 중반에 등장하여 실용화되었다[18, 19]. UBM 스퍼터링은 외부에 전자석 등을 추가하여 자기장의 세기를 변화시키는 방법으로 증발 물질의 이온화율을 향상시키는 방법이다. 1990년대 후반에는 타겟에 고전류의 펄스 전원을 인가하여 이온화율을 향상시키는 HIPIMS 기술이 개발되어 이와 관련된 연구가 현재도 활발히 진행되고 있다[20]. 복합 공정에서는 스퍼터링과 아크 증발원을 조합하거나 물리증착과 화학증착을 조합한 기술 등이 개발되어져 왔다.

이온플레이팅은 전자빔 방식의 증발을 사용하는 경우와 음극 아크 소스를 이용하는 방식이 개발되어 있다. 전자빔을 이용하는 방식은 주로 저전압 대전류의 HCD(Hollow Cathode Discharge) 방식의 이온플레이팅이 이용되고 있다. 음극 아크 소스 방식은 타겟에 아크를 발생시키고 이때 발생된 아크를 전자기적으로 제어하여 타겟 물질을 떼어내어 증착하는 기술이며 아크 스폿(Spot)이 무질서하게 움직이는 스폿 아크 방식과 자장을 이용하여 아크 스폿을 일정한 트랙에서만 움직이도록 유도하는 조정 아크(Steered arc) 방식이 있다. 음극 아크 소스는 기본적으로 거대입자(Droplet) 등이 발생하기 쉽기 때문에 미려한 표면을 요구하는 응용분야에서는 어려움이 있었으나 현재는 거대 입자를 발생하지 않는 다양한 여과 아크(Filterd arc) 소스가 개발되어 산업적인 응용을 넓혀가고 있다.

진공증착이 고진공을 이용하기 때문에 고가의 고진공 배기 장치를 사용해야 하는데 이러한 고가의 장치를 사용하지 않고 저진공에서도 증착이 가능한 기술로 1990년대에 등장한 JVD(Jet Vapor Deposition) 기술이 있다[21, 22]. JVD는 수 Torr의 저진공에서 불활성 가스를 이용하여 두 개의 용기사이의 압력차로부터 증기를 음속의 제트로 만들어 코팅하는 기술이며 금속을 비롯하여 산화물 및 절화물 등의 화합물 박막 제조가 가능하다. 유럽의 철강사가 주축이 되어 설립한 철강 관련 연구기관인 CRM(Center for Research in Metallurgy)

에서는 저용점 금속의 증발에 JVD를 응용하여 고속 증발하는 기술을 실현하고 이를 강판의 표면처리에 적용하는 연구를 하고 있다[23]. JVD의 또 다른 변형 기술로 전자빔 증발로 증기를 형성하고 수송 가스(Carrier gas)를 제트로 만들어 증기를 기판으로 향하도록 하는 방식이 있는데 이 기술은 DVD(Directed Vapor Deposition) 방법으로 알려져 있다[24].

### 3. 관심 기능에 따른 증착 물질 및 제품별 적용 기술

증착에 사용되는 물질의 형태는 전자빔이나 저항가열 증발에 사용되는 낱알(Granule)이나 와이어 형상의 소재가 있고, 스퍼터링이나 아크에서 사용되는 원형 또는 직사각형의 판재형상(Target)이 있다. 스퍼터링 기술이 보편화되면서 세계적으로 증착 재료의 개발과 가공에 대한 기술 개발이 확대되고 있으며 소재의 활용을 극대화하기 위한 기술개발도 함께 진행되고 있다.

진공증착 기술을 제품에 적용하기 위해서는 요구 특성에 맞는 맞춤형 공정 개발이 필요하다. 코팅 제품의 요구특성은 크게 내식성과 내마모성, 장식성, 광학특성, 전자기 특성 등으로 구분할 수 있으며 이러한 특성에 맞는 물질계와 공정을 최적화하는 것이 주된 연구 테마가 되어 있다. 진공증착은 이러한 공정 최적화를 통해 자동차용 소재를 비롯하여 전자부품과 광학부품은 물론 기계 및 금형 소재, 생체 재료용 소재 등에 널리 이용되고 있다.

## IV. 진공증착에 의한 박막제조 기술의 주요 이슈 및 전망

### 1. 자연모사와 완전화 박막의 제조

진공증착 기술은 플라즈마 기술 및 나노코팅 기술을 조합하여 주변 환경과 반응하여 다양한 특성을 구현하는 스마트(Smart) 또는 카멜레온(Chameleon) 코팅소재라는 신 개념의 원천 소재 개발을 위한 연구로 발전하고 있다. 이 연구의 큰 흐름의 하나로 Fig. 5와 같이 동식물의 모양을 인공적으로 구현하는 자연모사 연구가 있다. 자연모사는 마이크로나노 하이브리드 계층 구조로 발전하여 저마찰 코팅은 물론 발수 및 친수, 자체청정, 내지문성, 방열성 등의 기능을 박막제조 및 표면개질을 통해 구현하는 방향으로 연구를 진행하고 있다.

한편, 일본과 유럽을 중심으로 완전화 박막(Perfect-like film)에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 완전화 박막이란 Fig. 6과 같이 벌크와 유사(Bulk-like)한 밀도의 피막을 얻는 것과 자연 산화막과 같이 치밀한 막을 제조하여 모재를 보호하는 박막, 그리고 완벽하게 제어된 표면 구조를 형성하는 것을 통합하여 일컫는 것으로 정의할 수 있다. Bulk-like한 박막은 일본의 NEDO(New Energy and Industrial Technology

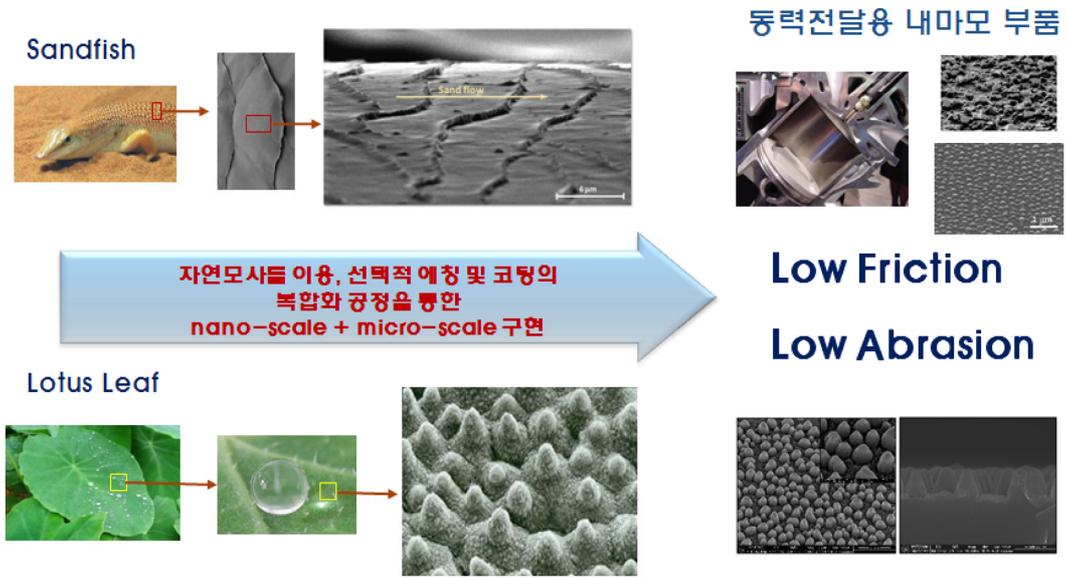


Fig. 5. (Color online) Mimicry of nature and its technical trend.

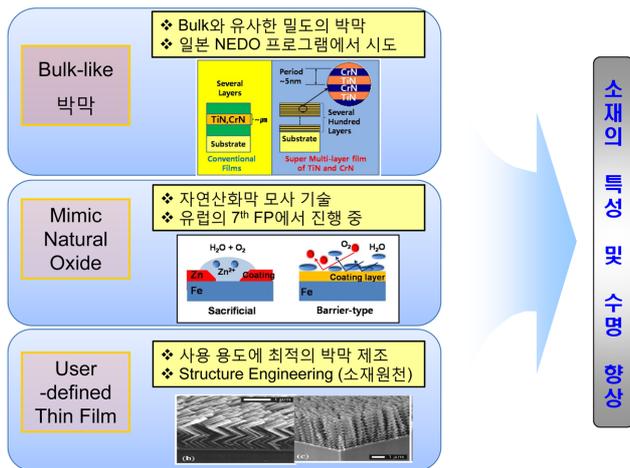


Fig. 6. (Color online) The definition and types of perfect-like films and their technical trends.

Development Organization; 신에너지 · 산업기술융합개발기구) 에서 1990년도 초중반에 시도했던 것으로 주로 경도가 높은 질화물을 이용하여 내식성이 취약한 소재에 직접 응용할 수 있는 코팅 공정을 도출하고자 하였다. 자연 산화막을 모사하는 기술은 유럽에서 제7차 Framework Program을 통해 2007년부터 연구가 진행되고 있다. 한편, 한국에서는 2009년부터 지식경제부 소재원천프로그램을 통해 완벽하게 제어된 박막 조직을 구현하고 사용 용도에 최적의 박막을 개발하기 위한 “다기능성 나노박막 복합구조화 기술” 연구를 진행하고 있다.

이러한 자연모사와 완전화 박막은 궁극적으로 친환경의 다 기능 코팅 소재를 개발하기 위한 것으로 이들 소재의 우수한

물성을 기초로 자동차 및 전자부품은 물론 반도체 전기 부품의 전자저항막 소재, 모바일 기기의 외장 소재, 그린 철강과 같은 새로운 원천 소재 개발 연구가 진행되고 있다.

## 2. 융복합 공정을 이용한 기능성 코팅과 Engineered Structure 구현

1990년대 후반부터 박막제조에서도 융복합이라는 용어가 등장하기 시작하였고 현재는 상업용 공정에서도 융복합 공정이 적용되고 있다. 융복합 공정의 등장으로 다층 및 다성분계에 대한 연구도 심도 있게 연구되어 많은 물질계가 실용화되어 있다[25]. 다성분계 연구의 대표적인 사례로 신개념의 트라이블러지(Tribology) 박막이 연구되고 있다. 이는 고경도의 질화물과 연질 금속을 동시 증착하여 나노 조직의 융합 복합 박막을 개발하는 것으로 대표적인 연구결과가 미국의 Argonne 국립연구소에 개발한 MoN-Cu, CrN-Cu 박막이며 [26, 27] 한국에서는 2009년부터 소재원천기술개발사업으로 BMG(Bulk Metallic Glass) 물질을 이용한 비정질의 고경도 및 고윤활 박막을 개발하는 연구가 진행되고 있다. 융복합 공정과 함께 2000년 이후 새롭게 진행되고 있는 연구가 OAD와 GLAD이다[8-10]. GLAD는 OAD 증착 방법을 이용하면서 기관의 각도와 회전을 동시에 조절하여 이루어지는 기술이며 최근에는 컴퓨터를 이용하여 입사각과 방위각을 정밀 제어함에 의해 나노 스케일의 지그재그 및 나선형, 기둥형 조직 등 복잡한 형태의 구조를 형성하는 것이 가능하게 되었다. Fig. 7은 GLAD의 원리 및 GLAD로 만들어진 다양한 피막 구조를 보여주는 그림이다. 이러한 조직 제어를 통해 Engineered structure를 구현하여 응용성을 극대화하는 것이

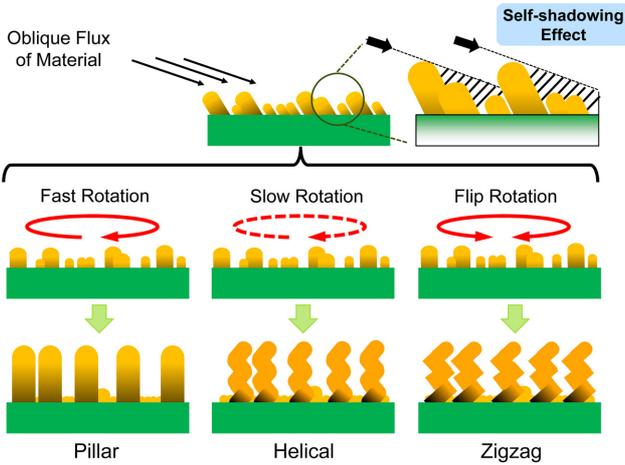


Fig. 7. (Color online) Various types of film structures produced by GLAD method.

스침각 증착의 궁극적인 목표이다. 현재, 스침각 증착 기술과 다양한 형태의 나노 구조를 이용하여 각종 센서는 물론 태양 전지와 같은 에너지 소자, 필터와 같은 광학코팅 등에 응용하기 위한 연구가 세계적으로 폭넓게 진행되고 있다. 한편, 진공증착 공정을 이용한 고분자(Polymer) 코팅 공정이 급속히 실용화되어 점차 그 응용을 넓혀가고 있다.

3. 초고속 증착과 원가 저감 기술 실현

생산성 향상과 원가절감을 중요시하는 산업계의 요구에 대응하여 초고속 및 대면적 증착을 위한 기술 개발이 꾸준히 진행되고 있다. 2000년대에 들어와 유럽과 한국을 중심으로 기존 공정대비 고속 증발 및 에너지 저감이 가능한 전자기

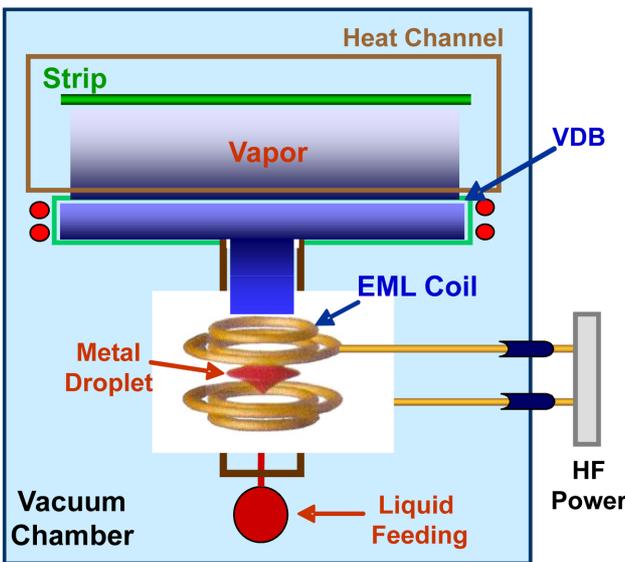


Fig. 8. (Color online) Schematic drawing of EML-PVD configuration.

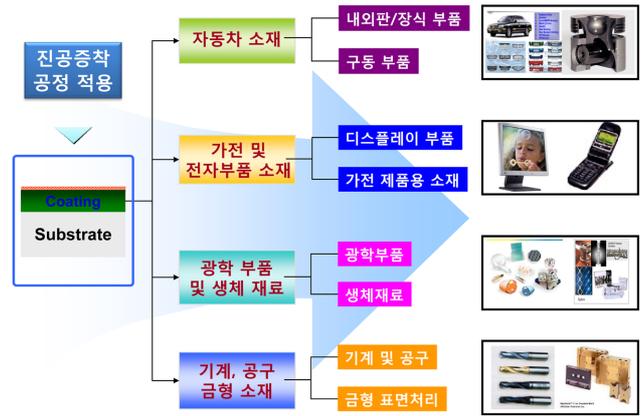


Fig. 9. (Color online) Applications of thin film materials.

부양(Electromagnetic Levitation; EML) 소스 및 이를 이용한 증착 기술이 개발되고 있다[28, 29]. Fig. 8에 EML 소스 및 이를 이용한 증착 장치의 개략도를 나타내었다. EML 소스는 고주파 전원을 이용하여 전자기력에 의해 증발물(금속)을 Coil 안에 부양시키면서 동시에 유도가열에 의해 가열 및 증기화하는 증발원이다. EML-PVD 기술은 EML 소스에서 발생된 증기를 증기분배장치(Vapor Distribution Box; VDB)를 통해 기판으로 이송하여 증착하는 기술이다. EML-PVD 기술은 열손실이 거의 없기 때문에 전력손실을 줄일 수 있고, 증기의 손실을 최소화할 수 있기 때문에 매우 경제적인 증발 기술로 평가되고 있다.

Fig. 9는 진공증착을 이용한 박막소재의 응용분야 및 파급 효과를 보여주는 그림이다. 그림과 같이 박막소재는 자동차 소재는 물론 전자부품과 광학 부품 그리고 기계나 공구 등 다양한 분야에 응용이 가능하다. 한편 이러한 박막소재와는 별도로 진공코팅용 장치와 소스 및 증발 재료에서도 시장이 크게 확대되고 있다. 이와 같은 시장의 확대 배경에는 습식 도금 기술의 환경규제와 더불어 진공증착 기술의 진보 그리고 반도체 및 디스플레이 산업의 발전에 있다고 할 수 있다.

박막소재 및 진공증착 기술의 세계 시장은 연간 수백 조에 달하는 바, 친환경을 기반으로 개발된 고성능의 박막소재는 국내 부품소재 산업의 획기적인 변화는 물론 미래의 새로운 성장동력으로 자리날 것으로 기대된다.

V. 결 론

진공증착 공정을 중심으로 박막제조 기술에 대한 분류와 기술 발전 동향 및 전망에 대해 기술하였다. 1980년대 이후 비약적인 발전을 해온 박막제조 기술은 친환경 공정과 다양성 측면에서 각광을 받고 있다.

진공증착 공정 연구는 주로 피막의 조직제어 연구가 주를

이루었는데, 1970년대에 SZM 모델을 통해 기반이 확립되었고 현재는 HIPMIS나 GLAD 같은 새로운 기술의 등장으로 나노복합구조를 구현하는 연구가 진행되고 있다.

박막제조 공정을 이용하여 자연모사를 통한 기능 창출 연구가 다양하게 연구되고 있으며, 한편으로는 융복합 공정을 통한 기능 향상 연구가 활발히 진행되고 있다. 증발원 기술은 초고속 증착과 원가 저감을 위한 기술 개발이 가속화 되어 EML 소스 등의 기술이 개발되었다.

향후에는 피막 특성을 위한 다양한 공정 개발과 함께 초고속 증착과 저원가 기술을 실현하기 위한 연구, 그리고 에너지 소재 및 친환경 공정에 적용하기 위한 연구개발이 꾸준히 진행될 것으로 전망된다.

### 감사의 글

이 논문은 지식경제부 소재원천기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

- [1] P. M. Martin, Handbook of Deposition Technologies for Films and Coatings, Elsevier, Amsterdam (2005), Chap. 4.
- [2] R. F. Bunshah, Handbook of Deposition Technologies for Films and Coatings, 2nd Ed. Noyes Publications, Berkshire (1994), Chap. 4.
- [3] B. A. Movchan and A. V. Demchishin, Phys. Met. Metallogr. **28**, 83 (1969).
- [4] J. A. Thornton, Ann. Rev. Mater. Sci. **7**, 239 (1977).
- [5] P. B. Barna and M. Adamik, Thin Solid Films **317**, 27 (1998).
- [6] S. R. Pulugurtha, et al., Surf. Coat. Technol. **202**, 755 (2007).
- [7] A. Anders, Thin Solid Films **518**, 4087 (2010).
- [8] J. J. Steele and M. J. Brett, J. Mater. Sci: Mater. Electron **18**, 367 (2007).
- [9] M. M. Hawkeye and M. J. Brett, J. Vac. Sci. Technol. A **25**, 1317 (2007).
- [10] K. Robbie, G. Beydaghyan, T. Brown, C. Dean, J. Adams, and C. Buzea, Rev. Sci. Instrum. **75**, 1089 (2004).
- [11] Vacuum Evaporation Sources, catalogue by R. D. Mattis Company, Long Beach, California, U.S.A. (1989).
- [12] Vacuum Evaporation Sources, catalogue by Jori Resources Corp., Ventura, California, U.S.A. (1989).
- [13] Evaporation Sources, catalogue by Vac's Metal Corp., Tokyo, Japan (1989).
- [14] [http://www.lesker.com/newweb/FrameSets/Frameset\\_Evaporation\\_Sources.cfm](http://www.lesker.com/newweb/FrameSets/Frameset_Evaporation_Sources.cfm).
- [15] Evaporation Sources and Crucibles, Catalogue by PLANSEE Corp., 715 DE.01.01 (2000) RWF.
- [16] 정재인, 양지훈, 박혜선, 정재훈, 송민아, 한국표면공학회지 **44**, 155 (2011).
- [17] W. M. Posadowski, Vacuum **46**, 1017 (1995).
- [18] B. Window and N. Savvides, J. Vac. Sci. Technol. **A4**, 196 (1986).
- [19] B. Window and N. Savvides, J. Vac. Sci. Technol. **A4**, 453 (1986).
- [20] V. Kouznetsov, K. Macak, J. M. Schneider, U. Hlemerson, and I. Petrov, Surf. Coat. Technol. **122**, 290 (1999).
- [21] B. L. Halpern, J. Colloid Interface Sci. **86**, 337 (1982).
- [22] B. L. Halpern and J. J. Schmit, J. Vac. Sci. Technol. **A12**, 1623 (1994).
- [23] B. Schmitz, Steel Research **72**, 522 (2001).
- [24] J. F. Groves, G. Mattausch, H. Morgner, D. D. Hass, and H. N. G. Wadley, Surf. Eng. **16**, 461 (2000).
- [25] C. Donnet and A. Erdemir, Surf. Coat. Technol. **180-181**, 76 (2004).
- [26] A. Ozturk, K. V. Ezirmik, K. Kazmanli, M. Urgan, O. L. Eryilmaz, and A. Erdemir, Tribology International **41**, 49 (2008).
- [27] V. Ezirmik, E. Senel, K. Kazmanli, A. Erdemir, and M. Urgan, Surf. Coat. Technol. **202**, 866 (2007).
- [28] Y. J. Kwak, T. Y. Kim, D. Y. Lee, K. H. Nam, Y. H. Jung, W. S. Jung, M. J. Eom, and S. J. Hong, Proc. GALVATECH **2**, 1163 (2011).
- [29] L. Baptiste, N. Landschoot, G. Gleijm, J. Priede, J. S. Westrum, H. Velthuis, and T. Y. Kim, Surf. Coat. Technol. **202**, 1189 (2007).

## Trend and Prospect of Thin Film Processing Technology

Jaemin Jeong\* and Jihoon Yang

*Hybrid Materials Research Department, Research Institute of Industrial Science and Technology, Pohang 790-330, Korea*

(Received 29 September 2011, Received in final form 17 October 2011, Accepted 17 October 2011)

The technique of producing thin film plays a crucial role in modern science and technology as well as in industrial purposes. Numerous efforts have been made to get high quality thin film through surface treatment of materials. PVD (Physical Vapor Deposition) and CVD (Chemical Vapor Deposition) are two of the most popular deposition techniques used in both scientific study and industrial use. It is well known that the film deposited by PVD and CVD commonly possesses a columnar microstructure which affects many film properties. In recent years, various types of deposition sources which feature high material uses and excellent film properties have been developed. Electromagnetic levitation source appeared as an alternative deposition source to realize high deposition rate for industrial use. Complex film structures such as nano multilayer and multi-components have been prepared to achieve better film properties. Glancing angle deposition (GLAD) has also been developed as a technique to engineer the columnar structure of thin films on the micro- and nanoscale. In this paper, the trends and major issues of thin film technology based on PVD and CVD have been discussed together with the prospect of thin film technology.

**Keywords :** thin film, physical vapor deposition, chemical vapor deposition, nature mimicking, glancing angle deposition, electromagnetic levitation source