

# 펄스레이저 증착법의 원리와 응용

이 상 열  
(연세대 공대 전기공학과 조교수)

## 1. 서 론

뛰어난 단색성과 가간섭성의 광자형태의 순수 에너지원인 레이저는 마이크로 단위의 미세한 반도체 가공에서부터 해저 터널공사 유도시스템에 이르기까지 매우 폭넓은 응용분야로 각광을 받고 있다. 전자산업분야, 의용공학분야, 금속가공분야 등에 이르기까지 수 많은 분야에서 매우 뛰어난 우수성을 보이고 있으며 특히 소재공정분야에서는 공정 모니터링과 같은 수동적 역할에서부터 광섬유 제작공정, 반도체 레이저 어닐링, 표면처리 그리고 최근의 펄스레이저 증착법(또는 레이저 어블레이션법, Pulsed Laser Deposition, 약칭 PLD)에 이르는 능동적 역할까지 매우 중요한 부분을 차지하고 있다. 복잡한 다성분계 재료의 박막공정기법으로서의 PLD에 대한 관심은 급증하고 있으며 표 1에서 보여주듯 PLD를 이용한 다양한 종류의 소재증착은 전세계에 큰 파급효과를 미치고 있다. 이렇게 관심이 급증하는 이유는 순수한 단일 원소물질에서부터 복잡한 다성분계(현재까지 최대 6개원소로 구성된 것까지) 물질에 이르기까지 재현성 있고, 화학양론이 뛰어나며, 무엇보다 간단한 공정기법으로 박막을 증착시킬 수 있기 때문일 것이다. 특히, 1980년대 중반 이후 특성이 우수한 자외선 레이저인 엑시머 레이저(excimer laser)의 개발로 PLD는 박막증착의 우수성이 더욱 향상되었다. 그림 1에 엑시머 레이저를 이용한 펄스 레이저 증착 시스템을 보였다.

PLD 장치는 진공 또는 반응가스가 채워진 챔버안에 다층 박막을 증착시킬 수 있는 여러개의 타겟홀더와 기판홀더가 존재하고 물질을 기화시켜 박막을 증착시키기위해 외부 에너지원으로 고출력 레이저가 사용되며, 일련의 광학장치들은 타겟표면에 레이저 빔을 집속시키고 주사하기 위해 사용된다. 타겟표면에 집속된 레이저 빔은 타겟표면 물질을 플라즈마(또는 플룸)상태로 만들고 이 플룸이 결정화에 알맞는 온도로 가열된 기판위에서 결정구조를 가진 박막을 형성한다. 진공장치와 기화에너지원의 분리는 PLD 시스템을 유연하게 해서 내부적으로 기화에너지원의 사용에 의한 제한없이 다른 동작 모드에 쉽게 적용할 수 있다.

표 1. PLD를 이용한 소재증착

Material	Comment	Laser
Ag		TEACO <sub>2</sub>
Al		Nd-glass
AlO <sub>3</sub>		TEACO <sub>2</sub>
BN		Nd-YAG,
BaTiO <sub>3</sub>		Nd-glass
CN		ArF
Ca <sub>10</sub> (PO <sub>3</sub> ) <sub>6</sub> (OH) <sub>2</sub>	amorphous in N <sub>2</sub>	Ruby
GaAs	In O <sub>2</sub> /Ar	Nd-glass
LiNbO <sub>3</sub>	ferroelectric	KrF
PbTiO <sub>3</sub>	IITS-postannealed	ArF
PbZr <sub>1-x</sub> Ti <sub>x</sub> O <sub>3</sub>		KrF
Si		TEACO <sub>2</sub>
SiC		Nd-YAG, doubled
ZnSc <sub>2</sub> Te <sub>1-x</sub>		XeCl
YBaCuO		XeCl
Metal-polymer		KrF

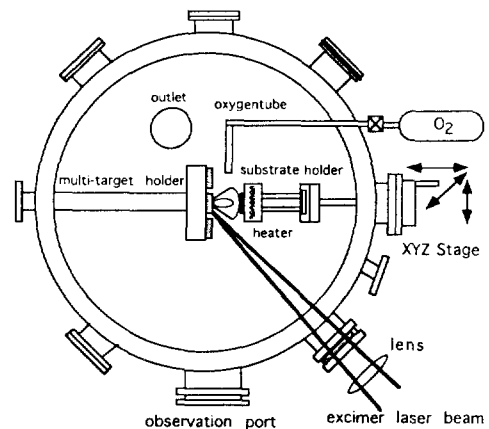


그림 1. 펄스 레이저 증착 시스템 개략도

PLD는 20여년 전부터 박막증착에 사용되어 왔으나, 최근에 고온초전도체, 강유전체 및 세라믹 박막 등이 성공적으로 증착됨으로써 다성분계 박막증착의 최적공정으로 각광을 받게 되었다. PLD는 실험장치가 단순하고, 박막의 성장속도가 빠르며,

타겟으로부터 방출되는 입자들의 운동에너지가 200~400 eV로 매우 높아서 낮은 기판온도에서도 결정화가 가능하고, 다 성분계 화합물 타겟의 조성을 증착한 박막에서 원래 조성의 재현이 가능하다는 장점을 가지고 있다.

## 2. PLD의 원리

PLD의 에너지원으로는 목적에 따라 거의 모든 레이저 종류가 사용되고 있으나 최근 들어 ArF(193nm), KrF(248nm), XeCl(308nm)의 엑시머 레이저와 제3고조파 성분을 이용한 Nd:YAG(355nm) 레이저 등의 자외선계 레이저가 박막형성 메카니즘의 우수성으로 주로 사용되고 있다.

PLD의 레이저-타겟의 반응에는 크게 두 가지 다른 메카니즘이 관련되어 있다고 알려져 있는데, 열적인 것과 비열적인 광분해 현상이 그것이다. 열적인 메카니즘에서는 고출력의 레이저 빔의 흡수에 의하여 타겟의 표면온도가 급격히 상승하고 (약  $10^{11}$  K/S 까지) 타겟물질이 기화하여 그에 따른 급속한 체적팽창으로 말미암아 기체상태의 물질이 분출된다. 비열적인 반응은 짧은 파장의 레이저 빔이 타겟물질의 격자결합을 분해하여 운동에너지로써 표면에서 사출시키는 과정을 말한다.

### 2.1. 1차 메카니즘(열적 광분해)

#### 2.1.1. 충돌 스퍼터링

레이저와 타겟표면 사이의 상호작용이 일어나는 동안 생긴 플라즈마가 레이저와 상호작용을 시작하여 플라즈마속에 있던 이온들은 100~1000 eV[1] 까지 가속되어 타겟표면과 충돌하면[2] 고체인 타겟표면에 2~10 eV 의 에너지로 묶여있던 원자들이 타겟으로부터 분리되어 평균 10~40 eV 의 에너지를 가지고 스퍼터링된다. 충돌효과의 한 증거로서 뾰족뾰족한 원주모양을 하고있는 콘(cone)의 형성을 들 수 있는데,

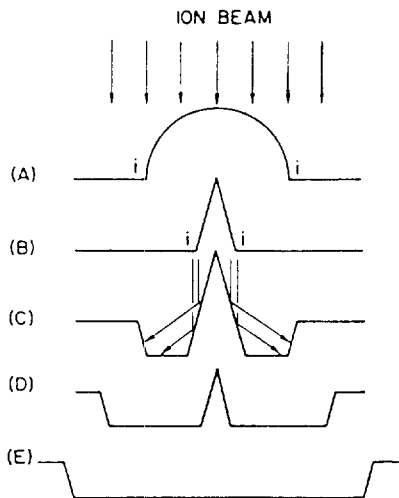


그림 2. 콘 형성 과정

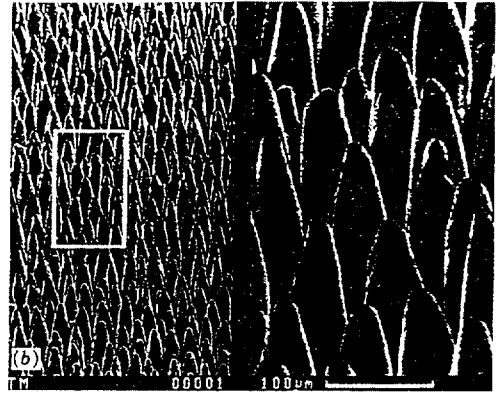


그림 3. 콘의 모습

콘의 형성과정이 그림 2에 나타나 있다[3]. 그림에서처럼 표면이 고르지 못하면 스퍼터링 산출량의 변화에 의한 콘형성 사이클이 진행된다. 이 콘은 레이저의 조사량이 증가함에 따라 그림 3에서 보이는 것처럼 레이저가 들어오는 방향으로 길게 자라나며 이로인해 기판으로의 증착률이 감소하게 된다. [4] 또 다른 증거로는 타겟표면의 침식을 들 수 있는데, 레이저의 타겟에 대한 조사에 의해 방출된 입자들이 플라즈마속에서 레이저와 상호작용을 일으켜 타겟표면의 심각한 침식을 발생시킨다.

#### 2.1.2. 열적 스퍼터링

고출력의 레이저가 타겟표면에 조사되면 펄스의 초기에는 흡수된 에너지에 의해 타겟표면이 융점까지 가열되고 곧 증발온도까지 이르게 되어 그후 입사된 레이저의 강도에 따라서 펄스가 유지되는 짧은 시간의 일부에서 순간적인 증발이 일어난다.

#### 2.1.3. 박리 스퍼터링

반복되는 열적충격에 의해 타겟으로부터 얇은 조각들이 떨어져 나오는 현상으로 시스템이 높은 선형 열적팽창 ( $\Delta L/L_0$ ,  $L_0$ 는 가열된 두께,  $\Delta L$ 은 두께의 변화), 높은 영률(E), 높은 녹는점( $T_m$ ) 등을 가질 때마다 발생한다[5].

#### 2.1.4. 유체역학적 스퍼터링

asperities가 있는 타겟표면에 그 표면을 녹일정도의 충분한 에너지를 갖는 레이저 펄스가 가해지면 표면이 녹아 만들어진 액체의 열적팽창에 의한 체적변화 때문에 각 펄스동안 asperities는 녹은 타겟으로부터 떨어져 나간다. 냉각은 녹은 타겟의 바닥부터 진행되기 때문에 가열동안의 팽창은 냉각동안에 상쇄되지 않고 그림 4(b)에서 처럼 추가적인 팽창  $\Delta L$ 이 존재하게 된다[6].

### 2.2. 2차 메카니즘(비열적 광분해)

조사되는 레이저의 고에너지에 의해 타겟표면에서 생긴 액

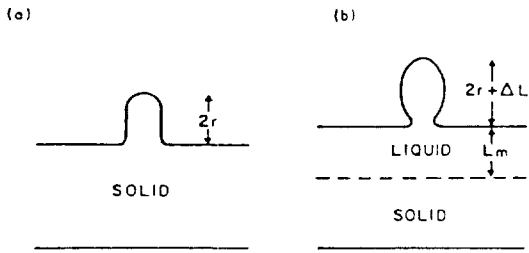


그림 4. 유체역학적 스테퍼링 과정

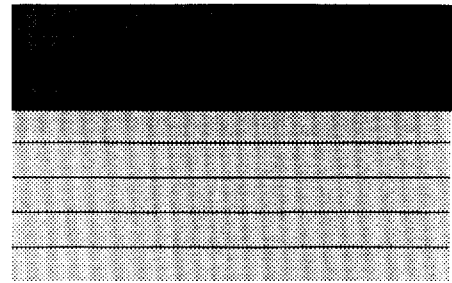
체상태와 기체상태의 경계면 앞부분에서 분자들의 평균자유행로의 두께에 해당하는 고밀도의 방출입자대인 누센층(Knudsen Layer)이 형성되어 이 영역에서 부수한 충돌현상[7]으로 인하여 에너지를 주고받음으로써 방출입자들이 재응집과정(recondensation process)과 전향방출을 일으켜 플룸이 형성된다. 누센층은 타겟표면에서 방출되는 입자의 수가 적을 때 형성되며 그 움직임은 희박한 가스운동학을 따르는데, 입자들은 전향방출적인 특성을 가지며, 플룸이 팽창함에 따라 응축되어 cluster들이 생성되고 방출입자들은 질량에 관계없이 비슷한 속도로 함께 움직이려는 성향이 있다.

실제로는 이 두 가지 과정이 복합적으로 작용하는 데, 타겟표면에 펄스 레이저가 조사되면, 순간적으로 타겟표면 물질이 용융되고 방출되어 플라즈마 상태로 주위의 기체와 반응하면서 팽창하여 기판상에 박막을 형성한다. 이 때, 표면에서 방출된 전자, 이온, 원자, 분자, cluster 입자들로 구성된 섬광형태의 방출입자 집합체를 플룸이라고 부르며[8, 9] 이때 생긴 발광현상으로 물질의 분출상태를 눈으로 식별할 수가 있다.

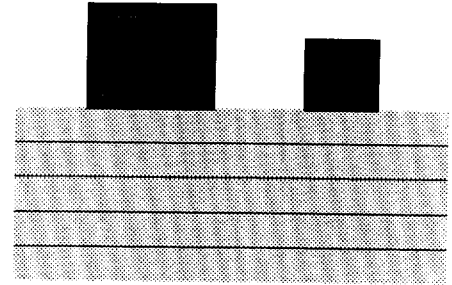
플룸은 타겟표면에 수직한 방향으로 전향적으로 팽창하여 플룸이 타겟표면의 수직한 축에서부터 각도(polar angle)  $\theta$ 가 커져서 멀어질수록 박막의 두께가 감소되며  $\cos^3 \theta$  ( $8 < n < 12$ )의 분포를 갖는 중앙성분과  $\cos \theta$ 의 분포를 갖는 분산성분으로 구성되어 있다고 보고되었다[10]. 중앙성분의  $n$ 값은 반응가스압력이 증가할수록 커진다고 알려져 있다. 플룸의 중앙성분은 타겟표면에서 폭발적으로 방출된 물질로 구성되어 화학양론(stoichiometry)이 타겟과 일치되거나 분산성분은 열적으로 증발된 물질로 구성되어 화학양론이 표적과 일치하지 않는다[11]. 박막제조와 관련하여 반응가스압력에 따른 플룸의 팽창과 플룸 속에 존재하는 방출물질의 선속밀도에 대한 체계적인 연구는 계속 진행 중에 있다.

### 2.3. 박막형성 메카니즘

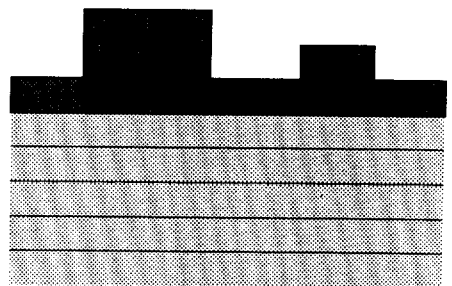
기판에서의 박막성장에 관한 입증된 이론은 없지만 지금까지 알려진 대표적인 이론이 3가지[12]가 있는데, 2차원 단일층 성장(Frank-van der Merwe Growth, 그림 5(a)), 3차원 섬 성장(Island Growth, Volmer-Weber Growth, 그림 5(b)), 2차원 단일층과 3차원 섬의 복합적 성장(Stranski-Krastinov



(a) 2차원 단일층 성장



(b) 3차원 섬 성장



(c) 2차원 단일층과 3차원 섬의 복합적 성장

그림 5. 박막 형성의 3가지 이론

Growth, 그림 5(c))이 그것이다[13]. 2차원 단일층 성장은 한번에 한 개의 단일층이 증착되며 매우 매끄러운 에피택셜 박막을 만들며 이 방식은 박막원자들과 기판원자들과 사이의 결합에너지가 박막의 결합에너지보다 클 때 일어나지만 각각의 새로운 단일층이 더해짐에 따라 감소한다. 3차원 섬 성장은 박막 원자들의 결합에너지가 박막원자들과 기판원자들과 사이의 결합에너지보다 클 때 일어나며 이 방식은 거칠은 표면이나 틈을 포함한 다결정질 에피택셜 박막을 만든다. 복합적 성장은 첫번째 단일층이 성공적으로 형성된 후 3차원 섬 성장이 이루어지며, 이것은 각각의 연속된 층이 격자부정함으로 인한 변형에너지와 같은 요소에 의해 겹쳐짐에 따라 결합에너지의 감소와 섬 형성이 용이할 때 일어난다.

효과적인 PLD에는 급속한 가열에 필요한 고출력( $\sim 500$  mJ/cm<sup>2</sup>-pulse), 가열부분을 국소화할 수 있는 shot pulse ( $< 30$  ns), 그리고 플라즈마 형성에 필요한 shot wave length ( $< 500$  nm) 등의 조건이 요구된다.

### 3. PLD의 응용분야

#### 3.1. 고온초전도 박막

고온초전도체 응용기술에서 현재 실용화에 가장 접근하고 있는 분야는 고온초전도 박막을 이용한 초전도 전자공학분야인데 이중 마이크로웨이브용 소자와 조셉슨 접합을 이용한 소자들은 이미 시제품 제작이 가능한 수준에 도달해 있다[14, 15]. 여기에 요구되는 박막은 큰 전류밀도( $J_c$ )와 높은 전이온도( $T_c$ ), 작은 전이온도 폭을 가지며 표면이 평활하고 원하는 방향으로 배향된 단결정 박막이어야 한다. 고온초전도 박막의 증착은 현존하는 모든 증착방법중 그 활용성과 유용성이 뛰어난 PLD는 타겟과 동일한 조성의 박막을 증착시킬 수 있어서 다성분 박막을 단일타겟으로부터 쉽게 얻을 수 있다는 장점을 가지고 있다. 뿐만 아니라 비교적 공정이 간단하고 단위 격자두께의 초박막(ultra-thin films)을 만들 수 있다. 더욱이 챔버 내에서 타겟을 바꿔가면서 증착을 할 수 있어서 인공조각자 및 인공결정격자를 가지는 새로운 물질의 박막화도 가능하며, 물리적 증착방법중에서 증착 속도가 가장 빠르고 증착시 이온선이나 플라즈마 등을 쉽게 사용할 수 있어서 공정상의 유연성을 가지는 장점도 있다.

#### 3.2. 강 유전성 박막

강유전체는 자연 발생적인 분극이 관찰되는 중심비대칭 결정격자구조로부터 발생하는 유용한 특성인 강유전성을 갖는 다성분계 재료로 이 강유전성은 압전성(piezoelectric), 초전성(pyroelectric), 전광성(electrooptic) 등을 포함한다. 강유전성 산화물의 복잡한 화학조성과 일부 성분의 휘발성으로 인해 박막증착이 어려워 응용연구는 크게 발전하지 못하였다. 초고집적 기억소자에서의 강유전성 박막의 요구와 박막증착 기술의 발전에 따라 강유전성 박막이 다시 관심을 끌게 되었다. 최근 강유전체 재료와 반도체 집적기술의 결합은 표시소자, 센서, 메모리, 광학 스위치, 변조기, 액츄에이터(actuators), 전자 및 광자 집적소자 등의 다양한 응용분야를 만들었다. 현재 가장 큰 관심을 모으고 있는 강유전성 박막의 응용은 비휘발성 기억소자(nonvolatile random access memory, NVRAM)이지만, 그 실현은 고품질 박막형태에서의 강유전체 유용성에 의해 제한받고 있다.

강유전성 박막의 제조방법중 가장 최근에 시도된 방법중의 하나인 PLD의 장점으로는 원료물질과 증착물간의 화학조성 일치, 휘발성분을 억제할 수 있는 고압하에서 증착가능, 에피택셜 성장과 낮은 증착온도 및 높은 증착속도( $\sim 10 \text{ \AA/S}$ ) 등을 들 수 있다. 이러한 장점들로 인하여  $\text{BaTiO}_3$ ,  $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$  (PZT),  $(\text{Pb},\text{La})(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$  (PLZT),  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  등의 강유전성 박막들이 PLD에 의해 성공적으로 제조되었다.

강유전성 박막의 비휘발성 기억소자로서의 실용화에는 아직 더 많은 연구가 필요하지만 PLD 기술의 출현으로 실현 가능

성이 매우 높아졌다. 왜냐하면 PLD에서는 증착 박막의 조성을 쉽게 조절할 수 있어서 새로운 화합물의 박막화가 용이하고, 에피택셜 성장이 가능하므로 새로운 전자소자의 박막 공정을 해결할 수 있기 때문이다.

#### 3.3. 강자성 박막

복잡하고 비등방적 결정구조를 갖는 다성분계 산화물인 강자성 페라이트(ferrite)는 낮은 유전손실, 강한 magnet coupling, 금속 자성체보다 높은 전기비저항 등으로 인하여 포화자화가 금속자석의 포화자화의 약 1/4이 되고 높은 저항 때문에 고주파 전자기에너지가 페라이트를 통과하게 된다. 그러므로 페라이트는 rf와 마이크로파에 대한 투과성이 뛰어나, 다결정질의 벌크형태를 가공하여 circulators, isolators, filters, phaseshifters 등 수동소자로 전자제품에 널리 사용되고 있다. 한편, 페라이트박막은 MMIC (microwave monolithic integrated circuitry)와 고밀도 자기기록 소자 등에 사용 가능하다. 그러한 복잡한 결정구조로 인한 페라이트 박막증착 기술의 부족으로 반도체에 응용하기 어려운 점이 있다.

PLD에 의해 강자성 세라믹 박막의 에피택셜 성장이 가능하게 되었으므로, 버퍼층(buffer layer)을 이용하여 Si나 GaAs 등의 반도체 기판상에 강자성 세라믹 박막을 에피택셜하게 성장시킨다면 페라이트 박막을 이용한 MMIC가 가능할 것으로 기대된다.

#### 3.4. 생체 세라믹 박막

뼈의 기본적인 미네랄 성분으로 구성된 생체이식용 수산화인회석 HA (calcium hydroxyapatite,  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ) 소재는 알려진 의료용 소재중 가장 생체에 적합한 것중 하나이지만 HA 세라믹 자체는 체내에 걸리는 하중을 견디기 어려운 강도를 갖고 있다. 따라서, 적절한 기계적 강도를 갖는 이식용 금속과 뼈의 주요 성분으로 구성된 HA의 생체용 적합성을 결합하기 위해 강도있는 이식용 금속에 HA 코팅 즉, 박막화 기술의 개발이 반드시 필요하다. 최근들어 전 세계적으로 여러 가지 우수한 박막증착법을 사용하여 1980년대 후반부터 HA 결정 박막을 구현하고자 집중적인 연구를 수행하고 있다. 그러나 대다수 박막 증착법으로는 HA 물질의 비정질화된 박막 증착에 그쳤으며 결정 HA 박막을 구현하기가 매우 어려웠다. 최근의 박막 증착법 중 가장 우수하다고 판명된 PLD을 이용하여 이제 막 결정질의 HA 박막을 구현하였다. 레이저의 의료용 응용분야의 최신 개념인 PLD을 이용한 생체용 소재 코팅기술은 그 우수성으로 생체 소재를 치과나 정형외과에 필요한 기기형상 위에 생체용 박막을 형성시켜 생체이식용으로 사용이 가능하게 하고 있다. 그러나 아직도 우수한 결정질 HA 박막 구현은 더욱 더 많은 연구 개발을 필요로 하고 있다. PLD는 생체 세라믹 박막의 표면향상과 미세조직을 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라 상과 조성을 조절할

수 있으므로 생체용 박막증착에 새로운 전기를 마련할 것으로 기대된다.

### 3.5. 마찰용 세라믹 박막

마찰공학(tribology)은 마찰성(friction), 윤활성(lubrication), 마모성(wear)에 관한 학문이며, 낮은 마모율을 갖으며 보다 큰 하중과 고온에 잘 견디어야 하는 마찰용 재료는 흡착성(adhesion)이 좋아야 한다. PLD는 여러 가지의 마찰용 재료를 흡착성이 매우 높게 증착시킬 수 있는 메카니즘을 제공하기 때문에 많은 전통적인 방식에 의해 증착된 박막보다 우수한 마찰성능을 나타내는 박막을 만들 수 있다. 이처럼 향상된 마찰성능은 증가된 흡착성, 고밀도, 적당한 화학양론, 최적 결정구조 등에 의해 이루어 진다. 주로 우주용이나 고효율 엔진등에서 요구되는 이러한 재료로는 적당한 열전도도 및 전기전도도를 가지면서 열적으로 안정하고 간단하면서도 내부식성이 우수한  $MoS_2$ , DLC(diamond like carbon), BN 등이 있다.

PLD에 의한  $MoS_2$  박막증착의 장점은 증착온도를 대폭 낮출 수 있고 복잡한 조성의 윤활성 세라믹 박막을 증착할 수 있다는 점을 들 수 있다. 300K에서 440C bearing steel상에  $MoS_2$ 를 증착한 후 증착막 표면에 레이저를 조사하여 결정화시키면 윤활성이 탁월한 박막이 얻어진다. 한편  $MoO_4$  박막에  $PbO$ 박막을 연속적으로 증착하고 이를 열처리하면 고온 윤활성 세라믹스인  $PbMoO_4$  박막을 얻을 수 있다.

지구상에서 가장 높은 경도를 가지며 큰 열전도도와 낮은 마찰계수 그리고 우수한 내부식성을 지닌 다이아몬드는 탁월한 윤활특성외에도 적외선 영역에서 자외선 영역까지 투광성을 가진다. 이러한 기계적 및 광학적 특성과 경량재료라는 점을 이용하면 적외선이나 X-선 투과용 렌즈의 보호피막으로 응용이 가능하다. 그러나 결정질 다이아몬드 박막증착은 매우 어려워 다이아몬드와 유사한 특성을 가지는 비정질 탄소 박막이 대체 물질로 연구되었다. 비정질 탄소 박막은 큰 압축응력과 고온에서 불안정할 뿐만 아니라 수소를 함유하기 때문에 광흡수도와 경도가 낮은 단점을 지닌다. 따라서 수소가 함유되지 않는 비정질 탄소박막 증착기술이 요구되게 되었다. 앞선 많은 실험결과로부터 고에너지로 이온화된 탄소원자가 양질의 DLC 박막증착에서 중요한 역할을 하는 것으로 알려지고 있다.

다이아몬드와 유사한 물리적 특성을 지닌 c-BN(cubic boron nitride)박막도 PLD에 의해 그 응용 가능성이 높아진 재료중 하나이다. c-BN은 Si와 넓은 온도영역에서 열팽창계수가 거의 같아서 Si 반도체의 열전도성 절연체로 쓰이는  $CaF_2$ ,  $SrF_2$ ,  $BaF_2$ 보다 우수한 절연박으로 사용 가능하고, 다이아몬드보다 doping이 용이하여 다이아몬드를 대체할 수 있는 박막 재료로 평가된다.

최근 연구결과에 의하면 PLD는 기판재료, 증착변수, 증착 후처리 등의 적당한 선택에 의해 박막특성을 제공하는 것으로 알려져 있으며 펄스 레이저 표면 어닐링(Pulsed Laser

Surface Annealing, PLSA)이 박막특성을 조절하기 위해 사용되고 있다.

### 3.6. 금속 박막

금속박막은 PLD에 의해 증착된 첫 번째 박막중의 하나로 1978년에 34개의 금속원소의 증착에 관한 보고서가 발표되었다. 그러나, 대부분의 고품질 금속박막들이 기존의 물리적 증착방식에 의해 증착되었기 때문에 PLD에 의한 금속박막의 증착은 1980년대 후반과 1990년대 초반동안 많은 공유결합물과 극성물질들의 증착에서 보여준 빠른 성장율을 보이지 않고 있다. 금속증착에 대한 PLD의 사용을 제한하는 다른 요소는 많은 물질의 PLD에 의한 증착은 엄격한 실험조건이 필요하다는 것이다. 금속은 다른 물질에 비해 기화하기 위한 임계 에너지가 크므로 집광면적을 줄여야 하고 그로인해 증발되는 물질이 줄어들고 증착률이 감소하게 된다. 그러나, PLD는 특이한 in-situ 특성때문에 많은 응용분야에서 전통적인 물리적 증착방식(스퍼터링방식 또는 기화방식)보다 우수하다. 예를 들어, 복잡한 화학양론을 갖는 자성체와 비평형 합금에 있어서 가장 실제적이다. 또한 금속다층박막과 같은 응용분야에 대해서도 증착률, 입자의 에너지, 타겟의 조성 등과 같은 증착변수를 직접 변화시킬 수 있어서 박막의 두께를 조절할 수 있고 기화시키기 어려운 금속도 타겟으로 사용할 수 있다.

### 3.7. 폴리머 박막

최근에 폴리머와 폴리머로 구성된 물질은 특이한 성질로 인해 과학기술분야에서 중요한 위치를 차지하고 있다. 그러나 대부분의 응용은 벌크형태에서 이루어지고 있고 박막형태에 기초를 둔 기술은 아직 초기 단계에 있으며 특히, 소형화와 집적화의 시대에서 폴리머 박막분야의 발달은 흥미를 끌고 있다. PLD는 폴리머 박막증착에 대한 흥미롭고 새로운 연구법이며 레이저 펄스가 유기 폴리머의 표면층을 식각할 수 있는 입증된 능력에 기초를 두고 있다. PLD는 다양한 폴리머 시스템의 박막합성에 대한 간단한 진공공정 연구법이다. 그러나 PLD의 입증되고 알려진 능력에도 불구하고 PLD에 의한 폴리머 박막증착에 대한 연구는 숫자상으로 제한되어 있어서 그 증착 메카니즘에 관한 자세한 내용은 아직 정확하게 이해되고 있지 않기 때문에 레이저 증착과정에 의해 영향을 받는다고 알려진 박막에서의 체인-길이 분포가 조절될 수 있는지가 명확하지 않다. 그럼에도 불구하고 결정질 폴리머의 에피택셜의 실현, 폴리머와 다른 무기물과의 이종구조 형성 등과 같은 흥미있는 주제들이 연구되고 있다.

## 4. 결 론

PLD는 타겟에서의 콘형성, 박막표면의 구형입자 형성 및 대면적 박막증착의 어려움 등 해결해야할 문제점이 있으나

간단하면서도 다성분계 물질증착에 유리한 여러 장점을 갖고 있다. 이온이나 전자와는 달리 레이저 빔은 전달하고 조작하기가 쉽고, 레이저와 기체상 물질의 상호작용이 상대적으로 약하기 때문에 증착압력의 조절범위가 어떤 증착방식보다도 크며, 적당한 조건하에서 타겟의 조성을 쉽게 재현할 수 있어서 여러 개의 타겟을 이용하면 다양한 다층박막을 형성시킬 수 있다. 또한, 레이저 빔-타겟 상호작용이 분위기압 또는 전극장치와 같은 다른 시스템 변수들과 독립적이어서 성능향상을 위한 다채로운 변형이 가능하다. 레이저-타겟 상호작용의 공간적 한정성으로 인해 증발이 국소적으로 일어나기 때문에 스퍼터링의 플라즈마가 챔버 안의 여러 표면들과 접촉하여 박막을 오염시키는 스퍼터링방식과는 달리 청결한 방식이다.

엑시머 레이저의 성능 향상으로 1980년대 말부터 급부상된 PLD는 다성분계 초전도체, 유전체, 자성체 및 DLC 등을 가장 효과적으로 증착시킬 수 있는 방법으로 자리를 잡아 가고 있어서, 차세대 microelectronics의 주역인 다기능 복합소자(multi-functional hybrid device)에서 요구되는 마찰성, 전광성, 압전성, 강유전성, 강자성, 초전도성 박막 등을 제조하는 주된 공정기술이 될 것으로 전망된다.

참 고 문 헌

[1] Akhsakhalyan, A. D., Yu.A. Bityurin, S.V. Gaponov, A.A. Gudkov, V.I. Luchin, Sov. Phys. Tech. Phys., 27, p969, 1982  
 [2] Akhsakhalyan, A. D., Yu.A. Bityurin, S.V. Gaponov, A.A. Gudkov, V.I. Luchin, Sov. Phys. Tech. Phys., 27, p973, 1982  
 [3] Auciello, O., R. Kelly, Radiat. Eff., 66, p195, 1982  
 [4] Touloukian, Y. S., R.K. Kirby, R.E. Taylor, P.D. Desai, Thermal Expansion, Metallic Elements and Alloys, Thermophysical Properties of Matter, Vol. 12, IFI/Plenum, New York., 1975  
 [5] Kelly, R., J.J. Cuomo, P.A. Leary, J.E. Rothenberg, B.E. Braren, C.F. Aliotta, Nucl. Instrum. Meth., B9, p329, 1985  
 [6] Kelly, R., J.E. Rothenberg, Nucl. Instrum. Meth., B7/8, p755, 1985

[7] Ytrehus, T., in Rarefied Gas Dynamics, vol. II, (J.L. Potter, ed.) AIAA, New York, p1197, 1977  
 [8] L. Wiedeman, H. Helvajian, J. Appl. Phys., 70, p4513, 1991  
 [9] H. Izumi, K. Ohata, T. Morishita, S. Tanaka, Appl. Phys. Lett., 59, p597, 1991  
 [10] T. Venkatesan, X.D. Wu, A. Inam, C.C. Chang, M.S. Hedge, B. Dutta, IEEE Journal of Quantum Electronics, 25, p2388, 1989  
 [11] R.K. Singh, O.W. Holland, J. Narayan, J. Appl. Phys., 68, p223, 1990  
 [12] Venables, J. A., G.D.T. Spiller, M. Hanbucken, Rep. Prog. Phys. 47, p399, 1984  
 [13] Lewis, B., J.C. Anderson, Nucleation and Growth of Thin Films, Academic Press, New York., 1978  
 [14] S.Y. LEE, K.Y. Kang, E.H. Lee, D. Ahn, J. Superconductivity, 8, p227, 1995  
 [15] S.Y. LEE, K.Y. Kang, D. Ahn, IEEE Trans. on Appl. Superconductivity, 5, p2563, 1995

저 자 소 개



이상렬(李相烈)

1963년 9월 11일생. 1986년 연세대 공대 전기공학과 졸업. 1990년 미국 State Univ. of New York at Buffalo 전기공학과 졸업(석사). 1992년 미국 State Univ. of New York at Buffalo 전기공학과 졸업(공학박). 1993년-95년 한국전자통신연구소 선임연구원. 1995년-현재 연세대 공대 전기공학과 조교수.