

# 디지털 소자용 방열판 제작을 위한 초고속 금속필름 증착장치 및 공정기술 개발

윤효은<sup>1</sup>, 안성준<sup>2</sup>, 한동환<sup>3</sup>, 안승준<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>선문대학교 나노과학과, <sup>2</sup>선문대학교 기계·ICT융합공학부, <sup>3</sup>선문대학교 BT융합제약공학과

## The development of ultra high-speed metal film deposition system and process technology for a heat sink in digital devices

Hyo Eun Yoon<sup>1</sup>, Seong Joon Ahn<sup>2</sup>, Dong Hwan Han<sup>3</sup>, Seungjoon Ahn<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Physics & Nano Science, Sun Moon University

<sup>2</sup>Division of Mechanical and ICT Convergence Engineering, Sun Moon University

<sup>3</sup>Department of BT-Convergent Pharmaceutical Engineering, Sun Moon University

**요약** 최근에 LED나 OLED와 같은 조명용 소자의 온도 상승에 따른 문제점을 개선하기 위하여 전기 도금 방법을 사용하여 제작한 두께가 두꺼운 금속 필름을 heat sink로 사용하고 있다. Cu 필름과 같은 두꺼운 금속 필름은 습식 방법인 전기 도금으로 제작하여 주로 소자의 방열판으로 사용되어 왔으나 건식의 증착 방법을 이용한 수 백  $\mu\text{m}$ 의 Cu 금속 필름에 대한 필요성이 요구되고 있다. 본 연구에서 설계·제작된 유도 가열 방식의 Cu 필름 증착 장치는 가열부가 세라믹 도가니 히터 부분과 세라믹 도가니 부분으로 분리된 이중 구조의 heating 방식을 채택하여 열 손실을 최소화 하고 보온 효과를 극대화시켰다. 또한 유도 가열 방식으로 초고속의 필름 증착 속도를 구현하였다. 그리고 열전도도가 높고 안정적인 두꺼운 Cu 필름 증착 기술을 확보하고 최적화 하여 1000  $\text{\AA}/\text{s}$ 의 증착율로 100  $\mu\text{m}$ 의 필름을 증착 하였으며 ~2.0% 이내의 두께 균일도를 얻었다.

**Abstract** To resolve the problem of the temperaturerise in LED or OLED lighting, until now a thick metal film has been used as a heat-sink. Conventionally, this thick metal film is made by the electroplating method and used as the heat-dissipating plate of the electronic devices. However, nowadays there is increasing need for a Cu metal film with a thickness of several hundred micrometers that can be formed by the dry deposition method. In this work, we designed and fabricated a Cu film deposition system where the heating element is separated from the ceramic crucible, which makes ultra-rapid deposition possible by preventing heat loss. In addition, the resulting induction heating also contributes to the high deposition rate. By tuning the various parameters, we obtained a 100- $\mu\text{m}$  thick Cu film whose heat conductivity is high and whose thickness uniformity is better than 2%, while the deposition rate is as high as 1000  $\text{\AA}/\text{s}$ .

**Keywords** : Heat sink, IVD, LED, Metal film, OLED, Ultra-high speed metal deposition

### 1. 서론

LED(Light-Emitting Diode) 조명은 고효율의 광원으

로서 일반 조명용으로 폭넓게 사용되어 현재 조명시장의 major 소자로 자리매김하고 있다. 그러나 LED의 경우 공급된 전력 중 ~40% 이상이 열에너지로 전환되어 소자

\*Corresponding Author : Seungjoon Ahn(Sun Moon Univ.)

Tel: +82-41-530-22617 email: sjan@sunmoon.ac.kr

Received April 6, 2017

Accepted July 7, 2017

Revised (1st June 20, 2017, 2nd July 6, 2017)

Published July 31, 2017

의 온도상승에 따른 광 효율 저하 및 파장 shift의 원인이 될 뿐 아니라 소자의 수명을 급격하게 감소시키는 문제점이 있다. 그리고 고급 조명으로 점차적으로 유기전계발광다이오드(Organic Light Emitting Diode ; OLED)로 조명시장의 main stream이 바뀌어 가고 있지만 OLED 소자 역시 고온으로 상승한 온도에서 동작할 경우 휘도가 떨어지고 소자의 수명을 급격하게 감소시키는 단점을 가지고 있다[1-3].

일반적으로 이러한 문제점을 개선하고 소자의 수명을 높이기 위한 가장 근본적인 방법으로 소자 내부에서 생성된 열을 빨리 외부로 발산시키는 방열시스템을 채택하여 사용한다. 널리 쓰이는 방열시스템으로 heat sink(즉 방열판)가 주로 사용되는데 열전도율이 우수한 물질을 소자의 substrate로 사용하여 heat sink를 제작한다[4,5]. 효과적인 heat sink를 만들기 위하여 LED나 OLED 소자의 방열판은 열을 방출하는 면적을 넓게 만들기 위하여 Fig. 1과 같이 복잡한 구조로 제작한다. 그러나 현재 LED나 OLED 소자에서 보편적으로 가장 많이 사용하고 있는 substrate 물질은 glass로서 열전도율이  $1 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ 로 매우 낮기 때문에 glass를 substrate로 사용한 OLED display의 경우 소자의 동작 온도가  $86^\circ\text{C}$ 까지만 신뢰성을 확보할 수 있다고 보고되고 있다[6,7]. 이와 같이 substrate 물질의 열전도율은 소자의 동작특성과 수명에 매우 중요한 인자이다.

최근에 이르러 OLED 조명의 방열은 전도도가 높은 전도성 물질의 필름을 부착하여 사용하고 있다. 필름 형태로 사용되는 방열 막에서는 열전도성이 우수한 두꺼운 박막이 요구되고 있을 뿐 아니라 AMOLED TFT 배선이나 고효율 조명용 LED와 같은 고효율, 고효율 소자에서도 기존의 건식 증착 방식과 전기도금을 이용한 수백  $\mu\text{m}$ 의 Cu 금속필름의 증착에 대한 필요성이 대두되고 있다.



Fig. 1. The heat sinks of the LED lighting.

Cu 금속필름의 열전도율은  $401 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ [8]로 어떠한 금속보다도 열전도성이 우수할 뿐 아니라 반도체 산업의 발달로 인하여 필름의 증착 방법이 잘 알려져 있어서 손쉽게 substrate 물질로 선택할 수 있는 물질 중의 하나이다.

CVD(Chemical Vapor Deposition) 방법[9], sputtering 방법[10], 그리고 evaporation 방법[11]과 같은 건식 증착 방법은 증착된 박막의 quality가 우수하지만 증착속도가 너무 낮아서(최대 수백  $\text{nm/min}$ ) 수백  $\mu\text{m}$ 의 두꺼운 Cu 금속필름을 형성하는 공정에 적합하지가 않다. 그리고 습식 증착법인 전기도금 방식[12] 역시 수백  $\mu\text{m}$ 의 두꺼운 필름을 형성할 수는 있지만 수율에 민감한 초정밀 반도체 공정이나 수분과 불순물에 취약한 OLED 공정에는 사용할 수가 없다[13].

따라서 본 연구에서는 IVD(Inductive-Vaporized Deposition) 방법으로 열전도도가 높은 수백  $\mu\text{m}$ 의 두꺼운 Cu 금속필름을 증착할 수 있는 증착 장비를 설계·제작하였으며, 이 장비를 이용하여 고 휘도의 면조명이나 flexible 조명과 같은 OLED 조명 소자의 substrate 물질로 사용할 수 있는  $1000 \text{ \AA/s}$ 의 높은 증착율을 달성할 수 있는 공정기술을 개발하였다.

## 2. 고주파 유도가열 방식의 초고속 금속증착 장치의 설계 및 제작

유도가열 고속증착 기술[14]은 진공 챔버 내에서 기판에 금속 및 산화물의 source를 불순물이 거의 없는 고진공 상태(증착 시 압력 :  $10^{-5}$  Torr이하)에서 CVD나 sputtering 방법보다 고속의 증착속도( $6 \mu\text{m/min}$  이상)로 진공 증착을 실현할 수 있는 기술이다[15]. 본 연구에서 개발된 IVD 유도가열 방식의 Cu 필름 증착 장비는 초고속 증착속도를 구현하기 위하여 가열부가 도가니 히터와 도가니가 분리된 이중 구조의 heating 방식으로 고안되었으며, 가열부가 가열부의 외각과 유도가열 코일 사이에 위치하여 열손실을 최소화하고 보온효과를 극대화시킬 수 있는 구조로 설계·제작되었다[16]. 기존의 evaporator나 sputter 및 전기 도금 방식의 증착장치들의 증착율이 최고  $1\sim 2 \mu\text{m/min}$ 인 것에 비해서 본 연구에서 개발한 증착장치로 증착할 경우 보통  $6\sim 7 \mu\text{m/min}$  정도의 안정적인 증착속도를 확보하였다[17]. 이것은  $100 \mu$

m 두께의 금속 필름을 10~15 min 안에 증착할 수 있기 때문에 산업현장에서 생산성을 혁신적으로 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라 박막이 고 진공상태에서 증착되기 때문에 OLED나 반도체 공정에서 요구하는 불순물이 없는 고순도, 고품질을 유지 할 수 있어 제품의 품질까지 향상시킬 수 있다.

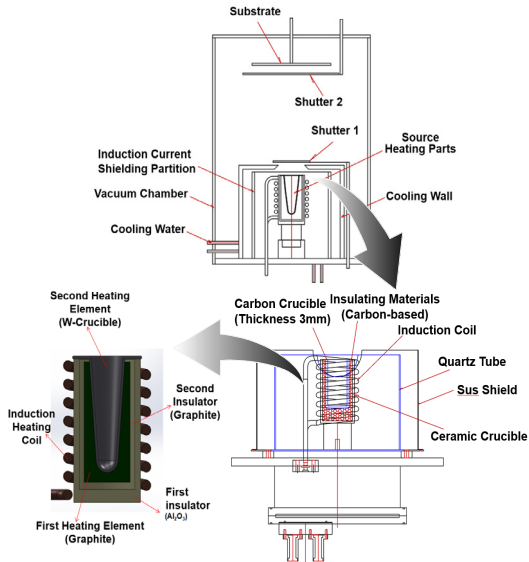


Fig. 2. Design of the high-speed IVD-type deposition equipment.

Fig. 2는 본 연구에서 개발한 IVD방식의 증착 source 부와 설계·제작한 유도가열방식의 진공 챔버의 도면이다. 증착 source부의 단열부는 1, 2차 발열체에서 발생하는 열이 유도가열코일에 전달되는 것을 차단하고 1차 단열층 및 1차 발열체의 보온 효과를 극대화시키기 위하여 2차 단열층의 구조를 통하여 source부 내부에서 외부로 발생하는 복사열을 최소화 시키도록 하였다. 그리고 발열체의 보온효과를 통하여 적은 입력전원으로 최대의 heating효과를 가져올 수 있도록 구성하였다. ~1000 Å/s의 증착율을 확보하기 위해서는 최적의 시스템을 구축하는 것이 가장 중요한 인자 중의 하나이다. 충분한 power가 공급되에도 불구하고 증착율의 개선이 미미한 것은 공급된 power의 에너지가 source 물질을 melting시키고 기화하는데 소모되지 않고 유휴열로 소모되기 때문이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 Fig. 2에서와 같이 ceramic housing 내부에 graphite heating block을 설

치하여 power output의 효율을 극대화 시키고 높아진 output 효율을 통해 증착율을 극대화 시켰다.

Source를 melting 시키기는 동안 증착 이전까지 챔버 내부나 substrate의 온도가 상승하는 문제는 substrate의 뒤틀림이나 휨과 같은 문제점을 발생시켜 공정불량의 원인이 된다. Source부에 의해 발생하는 복사열을 차단하기 위하여 챔버 상단 좌측과 하단 우측에 flange를 추가하여 source부와 substrate에 각각 shutter를 설치하여 증착 준비시간 동안 발생하는 복사열을 차단함으로써 챔버의 온도 상승을 억제하였다. 필름증착을 위한 공정 process를 진행하는 동안 발생하는 열에 의해서 챔버 내부 온도가 급격히 상승하여 공냉으로는 적절한 온도를 유지할 수가 없다. 챔버 내의 온도상승을 억제하기 위하여 가장 많은 열이 발생하는 도가니 주변에 냉각수를 강제 순환 시켜 줄 수 있는 cooling block을 설치하여 안정적으로 챔버 내부의 온도를 조절하였다. 그리고 water line에 bellows를 이용하여 진공도를 유지할 수 있도록 하였다. 챔버 내의 온도상승 억제를 위하여 cooling block을 설치한 다음 설치 전 후의 챔버 내부 온도를 비교한 결과 220~230°C의 온도상승을 억제하여 발열체의 입력전원에 대한 heating효과를 극대화 하면서 substrate의 뒤틀림이나 휨과 같은 문제점을 개선하였다.

IVD 유도가열 고속 증착을 위하여 진공 챔버 내부에 있는 도가니에 금속 source를 넣고 유도가열 방식으로 가열하여 source를 녹인다. 도가니는 고주파를 사용하여 유도가열 방식으로 급속도로 가열되거나 냉각되기 때문에 온도변화에 대한 내열성이 강하고 내부에 결함이 적어야 한다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 일반적으로 graphite 도가니를 유도가열 방식의 도가니로 사용한다. 본 연구에서도 널리 사용되고 있는 2종류의 graphite 도가니로 온도내성 실험을 하였다. Graphite(순도 100 ppm, 밀도 1.8 kg/m<sup>3</sup>) 도가니를 대상으로 온도에 대한 극한실험을 한 결과 수 회 test 후 도가니에 균열이 미세하게 발생하기 시작하였으며 증착된 박막의 표면에 검은 점으로 보이는 오염 물질이 나타났다. 미세한 균열은 graphite 도가니 내부에 공극이 존재하여 급속가열로 인해 공극의 팽창이 반복됨으로 인하여 균열이 일어난 것이며 오염 물질은 도가니의 재질에 따른 것이다. 본 연구에서는 이러한 결함을 제거하기 위하여 박막 증착장치의 source 도가니의 재질을 텅스텐(W)으로 변경하였다.

### 3. 실험결과 및 토의

#### 3.1 고주파 유도가열 방식의 초고속 금속증착 장치의 기본 공정 parameter 선정 및 박막증착

본 연구에서 설계·제작한 유도가열 고속 필름증착 시스템을 사용하여 Fig. 3과 같은 공정 recipe로 필름을 증착하여 증착장치의 안전성, 신뢰성 및 재현성에 대한 검증을 실시하였다. 가장 중요한 목표는 OLED나 반도체 공정에서 사용할 수 있는 고순도, 고품질의 100 μm 이상의 금속필름을 초당 1000 Å 이상 초고속 증착속도로 구현하는 것으로써 본 시스템에서 기본적으로 선정된 공정 parameter로 ~450 Å/s의 증착율을 확보하였으며 박막의 두께 uniformity나 roughness는 우수한 편이다.

증착에 사용된 기본공정 recipe의 parameter는 다음과 같다.

- Base pressure : ~ 1.0 × 10<sup>-6</sup> Torr
- B사 도가니를 사용하고 기관으로는 2 inch의 sapphire를 사용
- Source to wafer 거리 : 250~350 mm
- Output power : source가 완전히 용융될 때까지 ramping up 한 후 박막이 증착되는 동안은 일정하게 유지

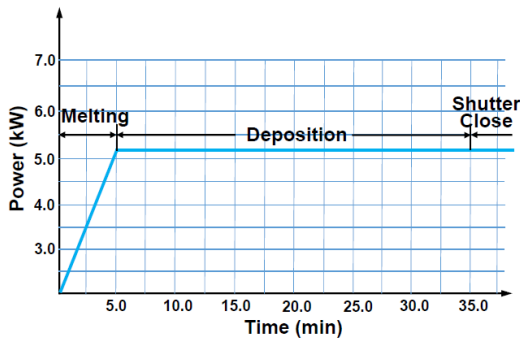


Fig. 3. The basic recipe of the induction-heating high-speed deposition system.

우선적으로 ~1000 Å/s의 증착율을 확보할 수 있는 공정조건과 시스템을 구현하기 위하여 source가 완전히 용융될 때까지는 shutter로 차단함으로써 low quality의 필름이 증착되는 것을 방지하고 증착율이 낮아지는 문제점을 보완하였다. 충분한 power(5.0~6.0 kW)가 공급될

에도 불구하고 증착율의 개선이 미미한 가장 큰 요인은 공급된 power의 에너지가 source material을 melting시키고 기화하는데 소모되지 않고 유희열로 소모되기 때문이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여, ceramic housing 내부에 graphite heating block을 설치하여 power output의 효율을 극대화시키고 높아진 output 효율을 통해 증착율을 극대화 시켰다.

Source와 wafer 사이의 거리는 박막 증착율과 아주 밀접한 관계가 있다. Solid angle(입체각)의 정의는 원점으로부터 거리 r만큼 떨어진 부분에서의 입체각, 즉  $\Omega = \frac{S}{r^2}$ 로 정의된다. 같은 입체각이라도 원점으로부터의 거리 r이 다를 경우 입체각이 이루는 면적은 r의 제곱에 비례하게 된다. 원점에 source 물질이 있다고 가정하면 입체각의 면적에 따라 source 물질이 target에 도달하는 밀도가 달라지고 그것에 따라 박막의 증착율을 조절할 수 있다. Source와 wafer 사이의 거리는 박막증착에 있어서 박막의 증착율과 quality를 제어할 수 있는 중요한 인자이다.

본 연구에서는 Z-motion manipulate를 이용하여 source와 substrate 사이의 거리를 조정하여 substrate의 온도 상승을 억제함과 동시에 substrate를 회전시켜 필름의 uniformity를 개선하였으며 여러 번의 시험증착 결과를 토대로 적정한 source와 substrate 사이의 거리를 200~250 mm로 결정하였다. 유도가열 고속 필름증착 시스템에 장착된 Z-motion manipulate는 Z-axis로 140 mm까지 상하 이동이 가능하다. 필름증착 시 source와 substrate 사이의 거리가 멀수록 substrate의 온도는 낮아지나 필름의 증착율은 낮아진다. Table 1은 필름증착 시 source와 substrate 사이의 거리에 따른 substrate의 온도 변화를 측정된 것이며 Fig. 4는 설치된 Z-motion manipulate의 구성도와 사진이다.

Table 1. Temperature of the substrate according to the distance from the source.

Distance (mm)	Substrate Temperature (°C)
300	209
220	265
200	340

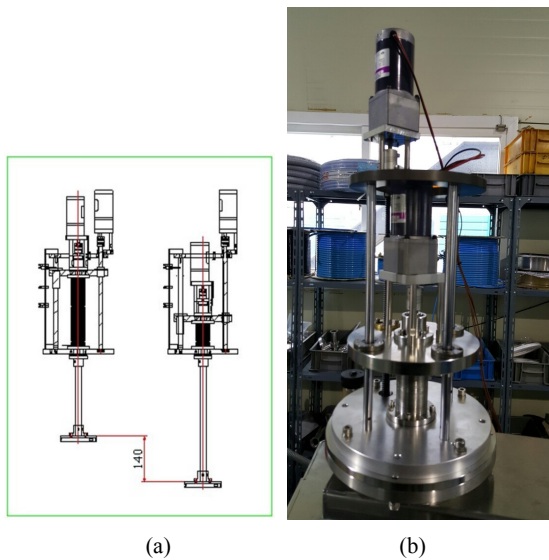


Fig. 4. (a) Design of the Z-motion manipulate and (b) the photograph of the installed one.

Ceramic housing 내부에 graphite heating block을 설치하여 power output의 효율을 개선한 후 기본 공정 recipe로 30 min 동안 필름을 증착하여 디지털 마이크로미터로 측정된 결과 필름의 두께가  $\sim 173 \mu\text{m}$ 임을 알 수 있었다. Fig. 5는 기본 공정 recipe로 30 min 동안 증착한 필름을 디지털 마이크로미터로 측정된 결과이다. 측정된 필름은 필름증착 후 디지털 마이크로미터로 두께를 측정하기 위하여 기판으로는 2 inch의 sapphire를 사용하였다. 기판으로 sapphire를 사용할 경우에 기판과 Cu 필름의 adhesion이 매우 약하기 때문에 쉽게 필름과 기판을 분리할 수가 있다.

따라서 복잡한 공정의 sample 준비과정이 없이 단순하게 필름의 두께를 측정할 수가 있다. 필름을 증착한 기본 공정 parameter는 다음과 같다.

- Base pressure :  $\sim 1.0 \times 10^{-6}$  Torr
- Process pressure :  $2.0 \times 10^{-4} \sim 4.0 \times 10^{-4}$  Torr
- A사 W 도가니를 사용하고 기판으로는 2 inch의 sapphire를 사용.
- Source to wafer 거리 : 200~220 mm

Fig. 5에서 보는 바와 같이 시스템의 박막 증착율은  $\sim 1000 \text{ \AA/s}$  정도로 크게 개선되었다. 그리고 source를 melting하는 용기인 도가니를 기존 graphite 도가니에서

W 도가니로 교체하고 carbon계열의 단열재를 graphite sheet로 교체하여 증착 시 발생하는 불순물 문제를 해결하였다.



Fig. 5. The  $173 \mu\text{m}$ -thick film whose thickness being measured by digital micrometer. (deposition time : 30 min)

### 3.2 고주파 유도가열 방식의 초고속 금속증착 장치의 최적화 및 표준공정

본 연구에서 설계·제작한 IVD 방법에 의한 유도가열 고속 필름증착 시스템의 문제점을 보완하고 최적화한 다음 Fig. 6과 같은 공정 recipe를 표준공정으로 선정하고 필름을 증착하여 증착장치의 안전성, 신뢰성 및 재현성을 검증하였다.

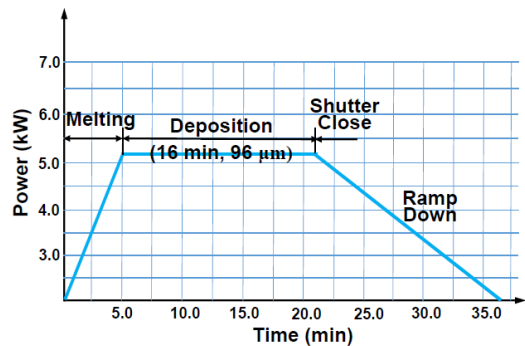


Fig. 6. Standard deposition recipe of  $95 \mu\text{m}$ -thick film with deposition rate of  $1000 \text{ \AA/s}$ .

필름증착을 위하여 base pressure는  $\sim 1.0 \times 10^{-5}$  Torr, process pressure는  $2.0 \times 10^{-4} \sim 4.0 \times 10^{-4}$  Torr로 설정하였다. 오염원을 제거하기 위하여 graphite 도가니 대신에 W 도가니를 사용하고 필름의 기판으로는 4 inch의 Si wafer를 사용하였다.

Source와 wafer의 거리가 가까울수록 substrate의 온도가 상승하는 문제점과 source와 wafer의 거리가 멀수록 증착율이 낮아지는 문제점이 있는데 이러한 문제점의 절충점을 고려하여 source와 wafer의 거리를 200~220 mm로 setting 하였다. Fig. 6의 표준공정을 사용하여 1000 Å/s의 증착율로 두께가 30 μm, 95 μm인 필름을 증착하였다. 증착율이 1000 Å/s, 두께가 95 μm인 sample 1(1019)은 표준공정 recipe로 16 min 동안, 두께가 30 μm인 sample 2(1102)는 표준공정 recipe로 5 min 동안 필름을 증착하여 sample을 제작하였다.

두께가 ~60 μm 이상인 두꺼운 필름의 두께 측정은 광학현미경으로 측정한다. 본 연구에서 설계·제작한 유도가열 고속 필름증착 시스템을 이용하여 증착한 두께 95 μm인 sample 1(1019)의 두께 측정은 Olympus(MX61) 현미경으로 측정하였다[18].

Olympus(MX61) 현미경을 이용하여 두께를 측정하기 위해서는 다음과 같이 두께 측정용 sample을 제작하였다. 먼저 sample을 몰딩작업에 적합한 크기로 채취한 다음 단면을 작업하기 위하여 resin(제조사 : EpoKwick™, 재료명 : Epoxy Resin 20-8136-128)과 hardener(제조사 : EpoKwick™, 재료명 : Epoxy Hardener 20-8138-032)를 5:1의 비율로 섞은 후 소량의 몰딩 액이 바닥면에 깔린 몰딩 틀에 샘플을 넣어 몰딩 액을 부은 뒤, 70°C에서 2 시간 정도 굳혀준다. 몰딩 틀에서 굳어진 시료를 cutting 기계를 이용하여 측정하고자 하는 포인트를 기준으로 잘라낸 다음 회전하는 polishing 장비와 표면적당 돌기수가 다른 사포들을 이용하여 시료의 표면을 점점 매끈하게 만들어 주며 어느 정도 다듬어진 시료를 용과 서로 다른 입자의 alumina 가루(1.0 μm, 0.3 μm)를 이용하여 표면을 매끈하게 다듬어 준 뒤, 마지막 용과 물로 polishing 작업한다. 이렇게 완성된 시료 sample을 현미경을 이용하여 25~1000 배의 배율로 단면을 측정한다.

현미경을 이용한 두께 95 μm인 sample 1(1019)의 두께 측정은 Fig. 7 (a)와 같이 wafer의 5 point(Top, Center, Bottom, Left, Right)를 측정하여 평균값을 박막의 두께로 한다. 박막의 두께 uniformity는 측정된 두께(평균값)를 기준으로 (최대값-평균값)과 (평균값-최소값)의 편차를 %값으로 표현한 것으로 보통 편차가 3%를 벗어나지 않으면 spec-in으로 판단한다. Fig. 7 (b)는 sample 1(1019)의 측정용 시료로 측정된 필름의 두께 사진이다. Fig. 7 (b)에서 보는 바와 같이 측정된 필름의 두

께는 T(95.01 μm), C(96.41 μm), B(95.01 μm), L(95.86 μm), R(95.27 μm)로 평균값은 95.51 μm 이며 박막의 두께 uniformity는 0.9%로 매우 우수하였으며 그리고 박막의 증착율 또한 ~995 Å/s로 초고속의 증착율을 확보하였다.

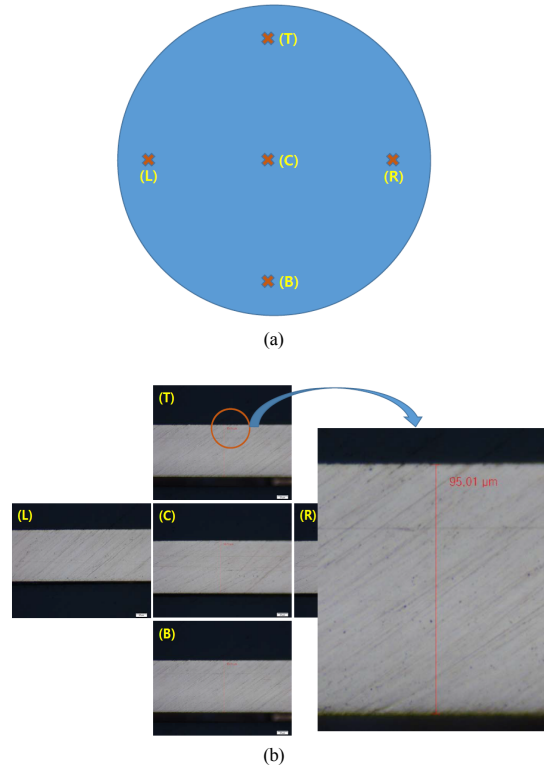


Fig. 7. (a) The points in a standard sample 1(1019) where the thickness were measured. (b) The photo of the thickness measurement using the Olympus(MX61) microscope.

듀얼 빔 집속 이온빔 시스템(Dual-beam Focused Ion Beam System)에서 사용되는 이온 source는 Ga으로 쌓여진 바늘 모양의 tip 형태를 하고 있다. 이온 source에는 30~50 kV의 전압이 인가되며 이온 source와 extractor 전극 사이의 전위차로 인하여 이온화된 2차 이온을 검출하여 image 화상을 얻을 수 있다[19]. 듀얼 빔 집속 이온빔 시스템은 박막의 두께가 얇은 것부터 비교적 두꺼운 필름까지 측정이 가능하기 때문에 두께가 30 nm~60 μm인 필름의 두께 측정에 적합하다[20]. 필름의 두께가 ~30 μm로 예상되는 sample 2(1102)의 두께 측정은 듀얼 빔 집속 이온빔 시스템을 사용하여 sample

1(1019)에서의 두께측정과 같이 wafer의 5 point를 측정하여 평균값을 박막의 두께로 하였다. Fig. 8에서 보는 바와 같이 sample 2(1102)의 측정용 시료로 측정된 박막의 두께는 T(30.79  $\mu\text{m}$ ), C(30.70  $\mu\text{m}$ ), B(29.57  $\mu\text{m}$ ), L(29.42  $\mu\text{m}$ ), R(30.69  $\mu\text{m}$ )로 평균값은 30.15  $\mu\text{m}$ 이며 박막의 두께 uniformity는 1.8%로 우수하였다. Sample 2(1102)의 박막증착 시간은 5 min으로 박막의 증착율은 1005  $\text{\AA}/\text{s}$ 이며 sample 2(1102) 역시 목표치 1000  $\text{\AA}/\text{s}$ 를 상회하였다.

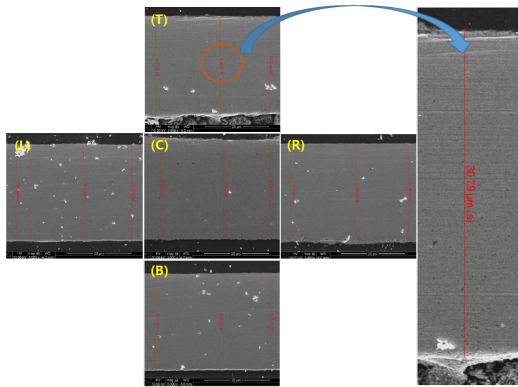


Fig. 8. Photos of the thickness measurement of the standard sample 2(1102) using the dual ion beam-focusing system.

그리고 유도가열 필름증착 시스템의 재현성과 신뢰성을 평가하기 위하여 수십 번의 증착 test를 실시하여 batch to batch uniformity를 측정한 결과 0.8%로 매우 우수하였다. 이것은 본 연구에서 구축한 유도가열 필름 증착 시스템의 재현성과 신뢰성이 우수하다는 것을 입증하는 결과이다.

#### 4. 결론

많은 면적을 차지하는 복잡한 구조를 보이는 발광다이오드 LED 방열판과 달리, OLED 조명의 방열판으로 사용할 수 있는 열전도도가 높은 두꺼운 후막의 Cu를 증착하기 위해서는 증착속도가 획기적으로 개선된 증착 장비와 증착공정이 필요하다. 지금까지 OLED/LED 방열판이나 반도체 제조의 금속필름 증착은 evaporator나 sputter 방법으로 진행 되어왔으나 최근 연구 개발이 활발히 이뤄지고 있는 AMOLED TFT 배선이나 고출력 조

명용 LED와 같은 고출력 고효율 소자에선 기존의 건식 증착 방식 외에 전기도금을 이용해 수백  $\mu\text{m}$ 의 후막용 Cu 금속필름 증착이 요구되고 있다. Cu 필름의 증착속도는 건식방법(열증착, sputtering, e-beam)을 채택할 경우 너무 낮고, 습식방법은 수분에 취약하여 OLED 공정과 맞지가 않으므로 전도도가 높은 Cu 금속필름을 고진공상태에서 고속으로 증착할 수 있는 IVD 방법의 금속필름 증착 시스템을 설계·제작하였으며 필름을 증착할 수 있는 안정성과 최적화된 공정 방법을 개발하였다.

본 연구에서 설계·제작된 유도가열 필름증착 시스템은 증착속도가 월등히 높고, 고품질의 금속필름을 증착할 수 있으며, 두께 제어능력이 우수하여 다양한 분야에서 활용이 가능하다. 특히 flexible 조명을 주요 target으로 하는 OLED (Organic LED) 조명 분야에 응용되는 금속필름의 경우, 고속 증착 및 정밀한 두께 제어가 가능하므로 본 기술의 개발은 관련 산업의 발전에 크게 기여할 것으로 판단될 뿐 아니라 증착율을 1000  $\text{\AA}/\text{s}$ 로 증착 가능한 공정기술은 확보하였고, 10  $\text{\AA}/\text{s}$  이하의 낮은 증착속도에서도 안정적으로 증착이 가능한 공정기술을 개발하였다. 필름 및 후막에 걸친 다양한 공정기술을 적용하도록 한다면, OLED나 반도체 공정에서 사용할 수 있는 고순도, 고품질의  $\sim 80 \mu\text{m}$  이상의 금속필름을 초고속으로 단시간 내에 증착할 수 있어 광범위하게 산업현장에서 생산성을 획기적으로 높일 수 있을 것이다.

#### References

- [1] S. J. Chung, J. H. Lee, J. W. Jeong, J. J. Kim, & Y. T. Hong, "Substrate thermal conductivity effect on heat dissipation and lifetime improvement of organic light-emitting diodes," Applied Physics Letters, vol. 94, 25330, 2009.  
DOI: <https://doi.org/10.1063/1.3154557>
- [2] G. Vamvounis, H. Aziz, N. X. Hu, & Z. D. Popovic, "Temperature dependence of operational stability of organic light emitting diodes based on mixed emitter layers," Synthetic Metals, vol. 143, no. 1, pp. 69-73, 2004.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.synthmet.203.10.014>
- [3] C. Garditz, A. Winnacker, F. Schindler, & R. Paetzold, "Impact of Joule heating on the brightness homogeneity of organic light emitting devices," Applied Physics Letters, vol. 90, no. 10, 103506, 2007.  
DOI: <https://doi.org/10.1063/1.2711708>
- [4] D. B. Tuckerman, & R. F. W. Pease, "High-performance heat sinking for VLSI," IEEE Electron device letters, vol. 2, no. 5, pp. 126-129, 1981.

DOI: <https://doi.org/10.1109/EDL.1981.25367>

[5] X. Zhou, J. He, L. S. Liao, M. Lu, X. M. Ding, X. Y. Hou, & S. T. Lee, "Real-time Observation of Temperature Rise and Thermal Breakdown Processes in Organic LEDs Using an IR Imaging and Analysis System," *Advanced Materials*, vol. 12, no.4, pp. 265-269, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-4095\(200002\)12:4<265::AID-ADMA265>3.0.CO;2-L](https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-4095(200002)12:4<265::AID-ADMA265>3.0.CO;2-L)

[6] J. R. Sheats, H. Antoniadis, M. Hueschen, & W. Leonard, "Organic electroluminescent devices," *Science*, vol. 273(5277), 884, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.273.5277.884>

[7] Bing Dai, Jiwen Zhao, Victor Ralchenko, Andrey Khomich, Alexey Popovich, Kang Liu, Guoyang Shu, Ge Gao, Sun Mingqi, Lei Yang, Pei Lei, Jiecai Han, & Jiaqi Zhu, "Thermal conductivity of free-standing CVD diamond films by growing on both nuclear and sides," *Diamond and Related Materials*, vol. S0925-9635, no. 16, 30274-6, 2017.

[8] C. Zweben, "Revolutionary new thermal management materials," *Electronics Cooling*, vol. 11, no.2, pp. 36-37, 2005.

[9] J. Kong, A. M. Cassell, & H. Dai, "Chemical vapor deposition of methane for single-walled carbon nanotubes," *Chemical Physics Letters*, vol. 292, no.4, pp. 567-574, 1998. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0009-2614\(98\)00745-3](https://doi.org/10.1016/S0009-2614(98)00745-3)

[10] H. Yabuta, M. Sano, K. Abe, T. Aiba, T. Den, H. Kumomi, & H. Hosono, "High-mobility thin-film transistor with amorphous InGaZnO<sub>4</sub> channel fabricated by room temperature rf-magnetron sputtering," *Applied Physics Letters*, vol. 89, no. 11, 112123, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.2353811>

[11] S. E. Lee, & J. H. Lee, "Copper Via Filling Using Organic Additives and Wave Current Electroplating," *Journal of the Microelectronics and Packaging Society*, vol. 14, no. 3, pp. 37-42, 2007.

[12] B. Hwang, Y. J. Choi, H. B. Kim, & Y. R. Cho, "Evaluation of Moisture Penetration Characteristics of Metal-Coated PET Film," *Korean Institute of Science and Technology Conference abstract*, vol. 1, pp. 351-351, 2010.

[13] J. M. Seo, K. Y. Park, S. R. Lee, & C. Y. Lee, "Quality Management of ITO Thin Film for OLED Based on Relationship of Fabrication and Characteristics," *Journal of Control Robot System Society*, vol. 14, no.4, pp. 336-341, 2008.

[14] J. I. Jeong, & J. H. Yang, "Trend and Prospect of Thin Film Processing Technology," *Journal of the Korean Magnetics Society*, vol. 21, no. 5, pp. 185-192, 2011. DOI: <https://doi.org/10.4283/JKMS.2011.21.5.185>

[15] J. I. Jeong, & J. H. Yang, "Trend and Prospect of Thin Film Processing Technology," *Journal of the Korean Magnetics Society*, vol. 21, no. 5, pp. 185-192, 2011. DOI: <https://doi.org/10.4283/JKMS.2011.21.5.185>

[16] S. Y. Lee, S. Y. Kuack, M. J. Park, W. S. Kim, J. K. Lee, K. D. Choi, & H. K. Jung, "Eddy Current Loss of the Cooling Plate According to its Shape for 600 kJ SMES," *The Korean Institute of Electrical Engineers Conference Proceedings*, vol. 1 pp. 132-133, 2007.

[17] S. C. Hong, W. J. Kim, & J. P. Jung, "High-speed Cu filling into TSV and non-PR bumping for 3D chip packaging," *Journal of the Microelectronics and Packaging Society*, vol. 18, no. 4, pp. 49-53, 2011.

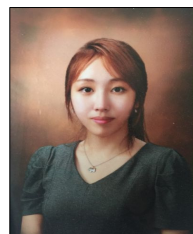
[18] J. B. Kim, H. S. Bae, K. H. Kim, S. W. Moon, G. J. Nam, & N. E. Kwon, "Analysis of a processed sample surface using SCM and AFM," *Korean Society of Precision Engineering*, vol. 23, no. 4, pp. 52-59, 2006.

[19] S. H. Lee, J. K. Kim, & D. G. Kim, "Diamond-like Carbon Coatings Prepared by Linear Ion Source with 20 kHz Discharge," *Korean Society of Surface Engineering Conference abstract*, vol. 1, pp. 262-262, 2012.

[20] K. W. Kim, S. G. Baek, B. J. Park, H. W. Kim, & I. J. Rhyu, "Applications of Focused Ion Beam for Biomedical Research," *Applied Microscopy*, vol. 40, no. 4, pp. 177-183, 2010.

**윤 효 은(Hyo Eun Yoon)**

**[정회원]**



- 2011년 2월 : 호서대학교 생물공학과(이학사)
- 2016년 8월 : 호서대학교 나노바이오트로닉스공학과(이학석사)
- 2016년 9월 ~ 현재 : 선문대학교 대학원 나노과학과 박사과정
- 2017년 4월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 ICT 소재 부품 연구소 위촉연구원

<관심분야>

반도체 공정, 발광체 방열판, 탄소나노튜브 분산 및 소자 기술, 탄소나노튜브 X-ray gun

**안 성 준(Seong Joon Ahn)**

**[정회원]**



- 1987년 2월 : 서울대학교 물리학과(이학사)
- 1989년 2월 : 한국과학기술원 물리학과(이학석사)
- 1992년 8월 : 한국과학기술원 물리학과(이학박사)
- 1992년 9월 : 삼성전자 반도체연구소 선임연구원
- 1996년 5월 : 한전전력연구원 선임연구원
- 2002년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 공과대학 기계ICT융합공학부 교수

<관심분야>

반도체 공정, 광섬유 통신 및 센서, 전자빔 기술, 레이저 미세가공



한 동 환(Dong Hwan Han)

[정회원]



- 1987년 2월 : 서강대학교 수학과 (이학사)
- 1989년 2월 : 한국과학기술원 응용 수학과(이학석사)
- 1993년 2월 : 한국과학기술원 수학과(이학박사)
- 1993년 8월 ~ 1994년 2월 : 한국 전자통신연구원 통신처리연구부 선임연구원
- 1993년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 건강보건대학 BT융합계약공학과 교수

<관심분야>

인터넷 트래픽의 대기행렬 모형화

안 승 준(Seungjoon Ahn)

[정회원]



- 1985년 2월 : 경북대학교 자연과학 대학 물리학과(이학사)
- 1989년 2월 : 한국과학기술원 물리학과(이학석사)
- 1993년 2월 : 한국과학기술원 물리학과(이학박사)
- 1989년 2월 ~ 1997년 2월 : 삼성 전자 반도체연구소 선임연구원
- 1993년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 공과대학 기계ICT 융합공학부 교수

<관심분야>

레이저 annealing, 반도체 공정 및 장비기술, 레이저 미세가공, 전자빔 기술