

다층 박막 스퍼터링 장비의 제어시스템에 관한 연구

A Study on Control System of Multi Layer Sputtering Equipment

이 선 종*, 유 흥 렬*, 손 영 득*★

Sun-Jong Lee*, Heung-Ryol Yoo*, Yung-Deug Son*★

Abstract

Multi-Layer Sputtering is aim to develop desired thickness thin film multi-layer with different materials. The multi-layer thin film deposition process occupies a relatively large portion in the process time, because the main reason is that it takes much time to move the substrate to be deposited and to make the chamber into a high vacuum state compared to the process time. Most of semiconductor and display industries sputter a single substance in one chamber and move boards through multi-continuous robots to another chamber to sputter other materials. This will inevitably require multiple chambers, vacuum pumps, and multi-contamination robots within the process facility. To solve these problems, this paper proposes a control system for multi-layer thin film sputtering devices that deposit different materials within a single vacuum chamber and is applied in TFT process. The manufacture and experiment of the control system proved its validity.

요 약

다층 박막 스퍼터링(Multi-Layer Sputtering)은 상이한 물질을 원하는 두께의 박막을 다층(Multi-Layer) 으로 형성함을 목적으로 한다. 다층 박막 증착 공정은 공정 시간이 비교적 많은 비중을 차지하는데, 그 주요 원인은 공정 시간에 비해 증착하고자하는 기판의 이동 시간과 챔버를 고진공 상태로 만드는 시간이 많이 소요되기 때문이다. 반도체나 디스플레이 산업은 하나의 챔버에서 단일 물질을 스퍼터링하고 기판이 다관절 로봇을 통해 다른 챔버로 이동하여 다른 물질을 스퍼터링하는 공정이 대부분인데, 이는 필연적으로 공정 설비 내에 여러 개의 챔버와 진공펌프, 다관절 로봇이 필요하다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 단일 진공 챔버 내에서 서로 상이한 물질을 증착하는 다층 박막 스퍼터링 장치에 대한 제어시스템을 제안하고 TFT 공정에서 적용한다. 제어시스템의 제작과 실험을 통해 유효성을 입증한다.

Key words : Chamber, Control, Multi-Layer, Sputter, Plasma

1. 서론

* Dept. of Mechanical Facility Control Engineering,
Korea University of Technology and Education

★ Corresponding author

E-mail: ydson@koreatech.ac.kr, Tel: +82-41-560-1297

Manuscript received Jun. 11, 2018; revised Jun. 25, 2018 ;
accepted Jun. 28, 2018

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

박막의 제작 방법에는 크게 화학적 방법과 물리적인 방법이 있다. 화학적 방법으로 주로 화학적 증착(CVD, Chemical Vapor Deposition)이 있으며 물리적 방법에는 증발법(evaporation)과 스퍼터링(sputtering)이 있다. 증발법과 스퍼터링의 주요한 차이점은 기판(Substrate)에 도달하는 원자들의 운동에너지에 있다. 즉 증발법의 경우 가열된 보트(Boat)에서 나오는 증발된 원자가 약 0.2[eV] 정도의 에너지를 가지고 있다.

반면 스퍼터링의 경우 스퍼터된 원자는 보통 수 [eV]의 에너지를 가진다. 그러므로 박막의 접착력이 크고 기판 표면의 결정학적 구조 등의 변화가 증착에 있어서 제어해야 할 중요한 요소가 아닌 경우 스퍼터링이 선호되고 있다.

스퍼터링을 전극의 수에 따라 구분할 경우 타깃(Target)과 기판으로 이루어진 이극(Diode) 스퍼터링, 타깃과 기판 사이에 바이어스를 걸어주는 삼극(Triode) 스퍼터링으로 구분할 수 있다. 전극 인가하는 전압소스에 따라 구분할 경우에는 DC(Direct Current), RF(Radio Frequency), 이온빔(ion beam) 스퍼터링으로 구분할 수 있으며 또한 스퍼터링 속도와 증착효율을 증가시키기 위해 타깃의 후면에 자석을 사용한 자기장을 걸어주는 마그네트론 스퍼터링 등이 있다[1].

II. 본론

1. TFT 공정

표 1과 그림 1에 TFT 공정의 내용과 순서에 대해 나타내었다. TFT 공정은 그림 1과 같이 공정 과정을 반복하여 TFT를 제조하며 실리콘 반도체 공정과 매우 유사하며, 박막증착(Thin film Deposition), 세정공정(Clean), 노광공정(Exposure), 현상공정(Development), 식각공정(Etch) 및 검사(Inspection) 등의 단위공정으로 이루어진다.

Table 1. TFT Process
표 1. TFT 공정 내용

Major Process	Contents
Deposition	A process in which impurities such as boron and phosphorus are injected into an electrically non-conductive silicon or glass to have electrical characteristics.
Cleaning	Process to remove contamination of substrate.
PR Coating	A step of applying the photosensitive liquid (PR) in the photo process.
Exposure	Expose the pattern of the mask to the photosensitive agent.
Etch	The process of removing unnecessary material from the surface.
Strip	Process to remove remaining photoresist after semiconductor exposure and etching process.
Inspection	Adjust the rework such as repairs by faulty grasp or defects.

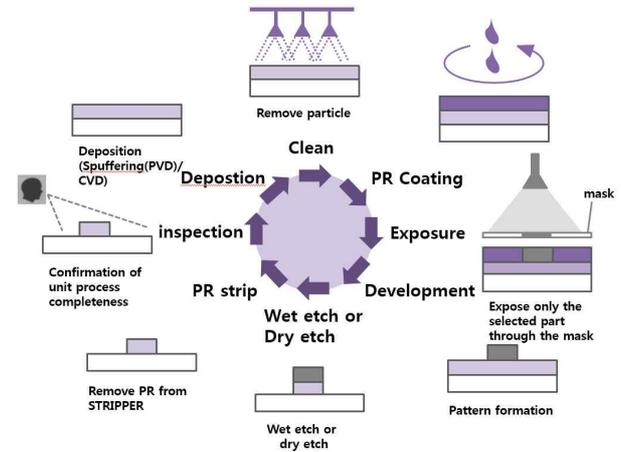


Fig. 1. TFT Process Sequence.

그림 1. TFT 공정 순서

다만 반도체 공정은 Wafer를 기판으로 사용하여 이루어지는 반면에 TFT 공정은 유리 기판을 사용하게 되며, 공정 중에 사용하는 온도가 반도체 공정보다 낮다는 점이다. TFT Array 패널은 이와 같은 단위 공정 기술을 사용하여 여러 종류의 박막을 다층으로 증착하고 가공하는 과정이 여러 차례 반복되어 이루어진다[1][2].

2. 스퍼터링 장비의 제어 방법 비교

2.1 일반 스퍼터링 장비 제어 방법

기존의 박막 스퍼터링 장비는 하나의 진공 챔버에 하나의 물질을 스퍼터링 할 수 있는 타겟이 부착되어 있어서 단일막 증착 공정이 가능도록 구성되어 있다. 그리고 2가지 이상의 공정 (기판 표면 크리닝 또는 증착)을 필요할 때는 별도의 공정 챔버를 부착하여 기판을 로봇으로 이송하여 공정을 할 수 있도록 구성해야 한다. 산화막 또는 질화막을 스퍼터링 할 경우는 산소 또는 질소 가스를 주입하여 스퍼터링 하는 리액티브 스퍼터링(Reactive Sputtering) 제어방식을 사용한다. 이러한 스퍼터링 제어장치는 기판과 같은 평면 위에서 공정이 이루어지도록 구성되어 있다[3][4].

2.2 제안하는 스퍼터링 장비의 제어 방법

제품의 표면에 진공 증착하고자 하는 것을 회전체에 부착하고 스퍼터링 케소오드에 타겟이 장착된 상태에서 챔버 내부를 고진공상태로 만든다. 제품의 형상에 따라서 공·자전이 가능한 회전체를 회전시킨 상태에서 이온 건(Ion Gun)에 비활성 가스인 아르곤(Ar)을 주입하여 플라즈마 발생이

가능한 수 mTorr 압력을 유지한 상태에서 제품의 표면에 스퍼터링 박막의 접착력 향상하기 위하여 이온 건에 고전압을 가하면 플라즈마가 발생하여 제품 표면이 크리닝 및 표면 개질 (Surface Treatment)시키는 공정을 우선 진행한다. 스퍼터링 타겟이 부착된 캐소드에 고전압의 전원을 공급하면 타겟 표면에 플라즈마가 발생한다. 이때 플라즈마가 안정되면 캐소드 도어가 개방되어 제품 표면에 박막 증착이 진행된다. 다층 박막을 코팅할 경우는 다층 박막의 공정 순서에 따라 타겟의 도어의 개방/폐쇄를 통해 이루어진다. 제품의 표면에 원하는 박막이 코팅이 이루어지면 캐소드에 공급된 전원이 차단되고 회전체도 정지를 한 후 고진공 밸브가 닫힌 상태에서 진공 챔버 내부에 질소 가스를 공급하여 대기압 상태가 될 때까지 기다린 후 챔버 도어를 개방 후 완성된 제품을 탈착하면 된다.

제안하는 스퍼터링 장비의 공정도는 그림 2, 제어 블록도는 그림 3과 같다. 본 논문에서 제안하는 스퍼터링 제어 시스템은 하나의 챔버에 최대 3개의 스퍼터링 타겟과 1개의 이온 건을 부착하는 방법이다. 다층 스퍼터링 박막 증착이 가능하고 이온 건을 이용하여 스퍼터링 공정 전에 기판 표면에 형성되어진 자연 산화막을 제거하는 크리닝을 실시한다.

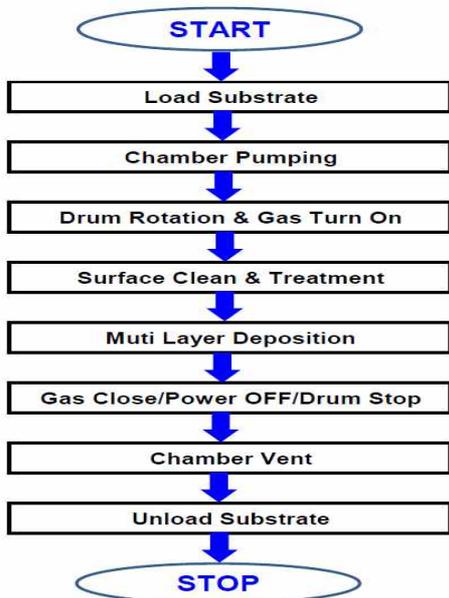


Fig. 2 Process Flow Chart.
그림 2. 제안하는 스퍼터링 장비의 공정도

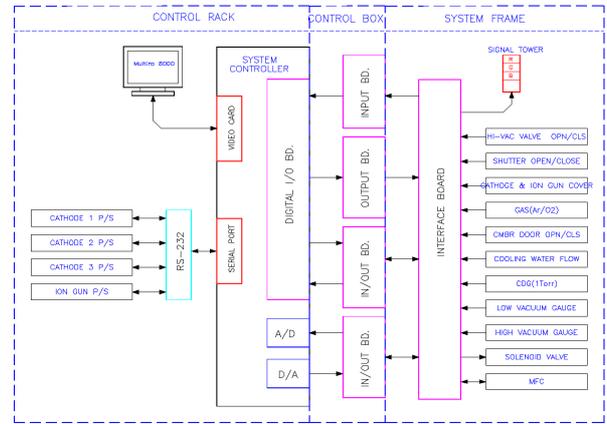


Fig. 3. Control diagram of proposed sputtering equipment.
그림 3. 제안하는 스퍼터링 장비의 제어 블록도

기관과 스퍼터링 박막의 접착력을 향상하는 기능과 산소 또는 질소 가스를 주입하여 플라즈마로 이온화 시켜서 산화막 또는 질화막 스퍼터링 방법인 이온 어시스트 스퍼터링(Ion Assist Sputtering)이 가능하도록 구성하였다[5]-[9].

3. 제안하는 스퍼터링 장비의 구성

진공 챔버내에 제품이 장착되고 챔버가 고진공에 도달한 후 공정 가스(아르곤, 산소)를 주입해서 스퍼터링 압력인 수 mTorr의 일정한 압력에 도달하면, 이 때 제품이 부착된 회전체가 원하는 속도로 회전을 확인 한 후에 캐소드에 부착된 타겟에 파워를 공급하면 진공 챔버 외부에 장착 된 캐소드의 타겟 표면에 플라즈마가 발생하면서 스퍼터링 공정이 시작된다. 타겟에 파워를 인가할 때 초기에는 플라즈마 발생을 위한 미세한 파워를 공급하여 플라즈마가 발생하면 몇 단계의 절차로 파워를 상승하면서 파워를 공급한다. 타겟에 공급되는 파워에 따라서 증착하고자 하는 물질의 박막 두께 조절이 가능하다. 박막의 두께 조절하는 공정 변수는 공정 압력, 타겟에 공급되는 파워, 스퍼터링 시간으로 조절이 가능하고 각 물질에 따라 차이가 있다. 제안하는 장비의 구성은 그림4와 같으며 이에 대한 주요한 기능은 다음과 같다.

3.1 진공 챔버(Vacuum Chamber)

증착하고자 하는 제품을 부착하여 스퍼터링하기 위한 금속 용기로 진공 챔버 외부에는 각 종 진공 게이지, 진공 밸브 및 고진공 펌프, 스퍼터링

캐소드, 이온건 등이 부착되어 있고 내부에는 제품을 부착하여 회전 할 수 있는 드럼과 타겟 도어가 내장되어 있다. 스퍼터링을 위하여 챔버 내부에 있는 공기 및 이물질을 배기하여 고진공 상태를 하기 위하여 챔버 외벽 및 홀에는 오링을 삽입과 챔버 내부 및 외부의 표면을 전기분해 방식으로 표면 처리하였다.

3.2 캐소드 (Cathode)

제품 표면에 증착하고자 하는 고순도의 물질을 부착하는 것으로 내부에는 강자성체의 영구 자석이 내장되어 있고 증착 물질 뒷면에는 스퍼터링시 플라즈마에 의해 발생하는 열을 냉각하기 위한 냉각수가 공급된다. 그리고 고진공 상태에서 스퍼터링 압력을 형성하기 위하여 고순도의 아르곤 가스를 타겟 표면에 분사하기 위한 가스라인이 구성되어 있고 타겟 표면에 플라즈마가 형성 되도록 고전압을 공급한다.

3.3 이온 건 (Ion Gun)

플라스틱 계열 제품의 경우 증착 전에 아르곤 가스를 주입하여 표면 처리를 하면 박막의 접착력을 향상이 가능하고 산소 가스를 주입하여 공정을 진행하면 리액티브 스퍼터링이 형성되어서 산화막(SiO₂, Al₂O₃)을 증착 할 수 있다. 대면적 균일한 효과를 위하여 가스 주입을 상·하로 분산한다.

3.4 기판 회전 장치 (Substrate Rotation)

증착 하고자하는 제품을 부착하는 지그로 제품 형태에 따라서 공전 및 자전이 가능한 지그 형태로 사용되며 저속부터 고속까지 속도 제어가 가능하도록 AC 서보 모터를 사용하고 최대 속도는 60[rpm]까지 가능하다.

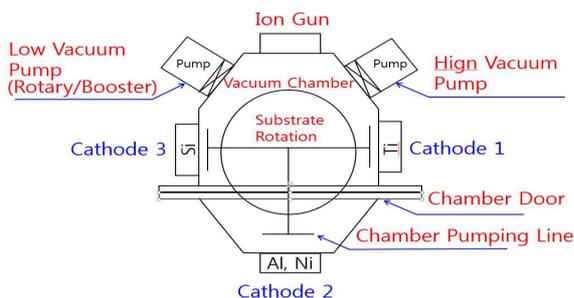


Fig. 4. Configuration of the proposed sputtering equipment.
 그림 4. 제안하는 스퍼터링 장비의 구성

3.5 저진공 펌프(Low Vacuum Pump)

Rotary Oil Pump와 Booster Pump로 구성된다. Rotary Oil Pump는 챔버 내부의 공기 및 이물질을 배기 시 대기압 상태에서 1[Torr] 정도까지 펌핑하고 지속적으로 동작하고 펌프 위치는 최하단에 위치한다. Rotary Oil Pump가 가동된 후 Booster Pump가 가동되며 통상 진공도는 1x10⁻³ [Torr]에 사용되며 최대 진공도는 10⁻⁴ [Torr]까지 가능하다.

3.6 고진공 펌프(High Vacuum Pump)

TMP(Turbo Molecular Pump)로 동작되며 고속 회전하며 공정 가스 주입과 스퍼터링 진행시에도 정상속도로 회전상태로 유지한다. 진공 챔버가 10⁻³[Torr]에 도달하면 고진공 밸브가 개방되어 챔버가 고진공에 빠른 시간에 도달할 수 있도록 한다.

3.7 공정 가스 및 압력 제어

공정 가스 제어는 챔버 내부의 고진공 상태에서 스퍼터링 타겟에 공급되는 아르곤 가스양 조절과 또는 기판 표면 처리 및 크리닝을 위한 이온 건에 공급되는 아르곤과 산소 가스양 조절한다. 진공 챔버와 고진공 펌프인 터보 펌프 사이에 위치하여 밸브 내경을 조절하여 고진공 펌프의 펌핑 속도를 조절하므로 진공 챔버 내부로 유입되는 아르곤 가스의 배기량을 조절하여 스퍼터링 압력을 자동 조절하는 기능을 한다. 스퍼터링 공정 압력을 조절하여 원하는 물질의 증착 속도를 조절 할 수 있다. 공정 압력이 낮으면 증착 속도가 낮고 압력이 높으면 증착 속도가 빨라진다.

4. 실험 및 검토

제안하는 단일 진공 챔버 방식의 다층 박막 스퍼터링 장비는 그림 5와 같다. TFT공전에서 적용을 위해 챔버 내의 진공도, Batch별 박막 두께 측정, 투과율의 3가지 실험을 하였다.

4.1 진공도 실험

진공 챔버의 고진공 상태 1x10⁻⁶ [Torr]까지 도달하기 위한 펌핑 소요 시간 확인하기 위한 실험으로 실험조건 및 결과는 Table 2, 그림 6과 같다.



Fig. 5. Experimental setup with sputtering equipment.
그림 5. 스퍼터링 장비의 실험

Table 2. Experimental conditions of vacuum.
표 2. 진공도의 실험 조건

Content	Condition
Clean Room	Class 1,000
Temperature	20 [°C]
Humidity	40 [%]
Chamber	No Substrate

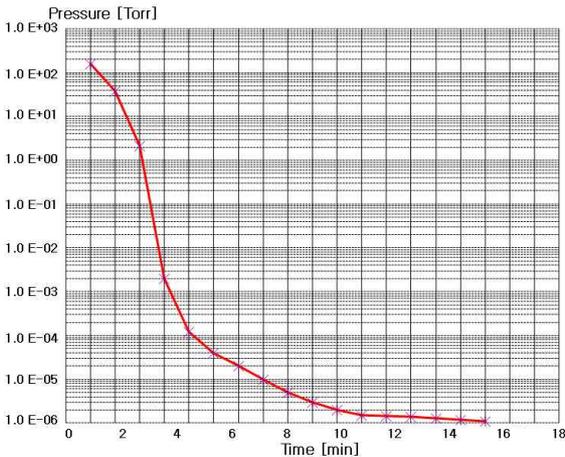


Fig. 6. Pumping speed time of vacuum chamber.
그림 6. 진공 챔버의 펌핑 속도 시간

저진공 펌프로 펌핑하여 4 [min]동안 동작한 후 고진공 펌프인 터보 펌프가 기동하여 스퍼터링 공정을 할 수 있는 5×10^{-6} [Torr]까지 도달하기 위한 시간을 측정하는 실험으로 8 [min]이 소요되고 추가로 고진공 펌프가 동작하는 상태에서 1×10^{-6} [Torr]까지 펌핑을 진행하였다.

4.2 각 Batch 박막 두께 측정

진공 챔버 내부에 있는 기판을 부착한 8각 회전 드럼의 1개의 면에 위 그림 7과 같이 평판을 부착하여 위치 1번부터 13까지 시료를 부착하고 스퍼터링 한 후 각 시료의 증양을 4 Point Probe 사용하여 스퍼터링 두께를 측정하였으며 실험 조건은 Table 3과 같다. 스퍼터링 박막 두께의 재현성을 확인하기 위하여 같은 공정 조건으로 3 Batch로 진행하여 측정하였으며 각 Batch별로 그림 7과 같이 3번부터 11번까지는 제품을 생산할 수 있도록 균일하고 일정하게 증착됨을 알 수 있다.

Table 3. Experimental conditions of thin film thickness measurement.

표 3. 박막 두께 측정의 실험 조건

Content	Condition
Target	Al (99.999%)
Base pressure	5×10^{-6} [Torr]
Process pressure	5×10^{-3} [Torr]
Gas	Ar (300sccm)
Process time	60 [sec]
Drum speed	10 [rpm]
Sample size	50 [mm] × 50 [mm]
Measurement equipment	4 Point Probe

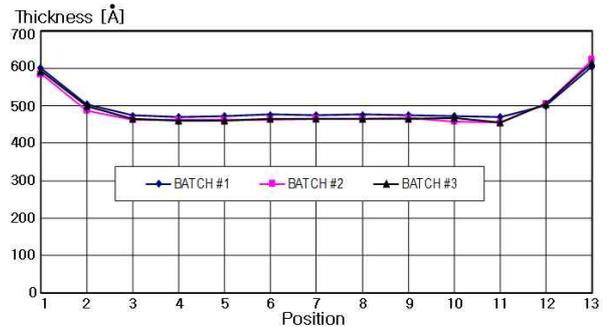


Fig. 7. Thin film thickness measurement per batch.
그림 7. 각 Batch의 박막 두께 측정

4.3 각 Batch 투과율

진공 챔버 내부의 회전 드럼 8각면에 PMMA 시편을 1번부터 13번 위치에 시료를 부착하고 실험 조건은 Table 4와 같이 스퍼터링을 진행 하였으며 투과율 측정기를 사용하여 시편의 증양 위치에 투과율을 측정하였다. 제품 재현성을 보기 위하여 3 Batch로 진행하여 측정하였으며 각 Batch별로 균일하고 일정하게 증착됨을 알 수 있다.

TFT 등 윈도우로 많이 사용되는 고 투과율 아크릴 일종인 투명 PMMA 표면에 LCD BLU(Back Light Unit)가 OFF일 경우 내부가 보이는 것을 차단하기 위하여 금속 물질을 진공 증착한다. 이 때 투과율이 낮으면 디스플레이 화면이 어두운 현상이 발생하고 반대로 투과율이 높으면 내부가 보이는 문제로 적당한 투과율을 할 수 있는 증착 방식을 사용한다.

Table 4. Experimental conditions of transmittance measurement.

표 4. 투과율 측정의 실험 조건

Content	Condition
Target	Cr (99.999%)
Base pressure	5×10^{-6} [Torr]
Process pressure	3.5×10^{-3} [Torr] (Ar 500sccm)
Drum speed	10 [rpm]
Substrate	PMMA Window
Measurement equipment	Spectrophometer

통하여 산소 가스를 주입하고 전원을 공급하면 이온 건 전극에 플라즈마가 발생하여 산소 가스를 이온화하여 스퍼터링 타겟 물질과 반응하여 산화막 증착이 이루어진다. 각 박막의 두께 조절은 스퍼터링 시간과 공정 압력, 타겟에 공급되는 전원공급량으로 조절이 가능하고 제품이 부착된 드럼은 서보모터를 통해 회전 속도가 제어된다. 다층 박막의 종류는 알루미늄(Al), 니켈(Ni), 크롬(Cr), 티타늄(Ti), 은(Ag), 금(Au), ITO 등 물질이 가능하고 산화막으로 SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 등이 가능하다. 다층 박막 공정을 이용한 제품으로는 무정전 무반사 (Anti-Reflective & Anti-Static) 제품, 빛 투과 및 차단을 이용한 카메라 렌즈 (IR Cut-off filter), 빛 반사를 이용한 색상 재현 제품 등이 있다. 또한, 제품의 재질 및 형태로는 금속, 유리, 플라스틱의 평판 형태와 3D 형태의 사출물 등에 적용 가능 할 것으로 사료된다.

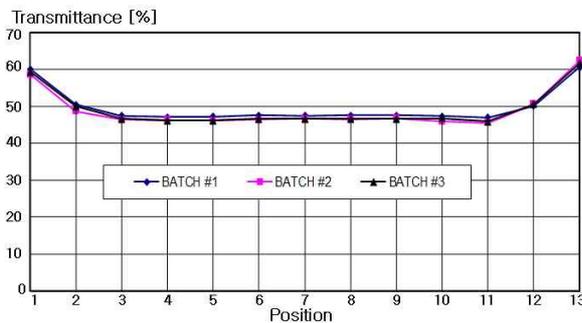


Fig. 8. Transmittance measurement per batch.
그림 8. 각 Batch의 투과율 측정

III 결론

본 연구에서 제안한 다층 박막 증착이 가능한 스퍼터링 장비는 단일 챔버내 3가지의 서로 다른 스퍼터링 타겟을 부착하고 이온 건을 사용하여 제품의 표면 크리닝과 표면 개질 공정을 함으로써 다층 박막의 접착력 향상 효과를 증대시켰다. 각 스퍼터링 캐소오드에 부착된 타겟 표면에 아르곤 가스를 주입하고 스퍼터링 캐소오드 파워를 공급하면 타겟 표면에서 플라즈마가 발생하면서 단일 박막 증착이 이루어진다. 이러한 공정을 스퍼터링 캐소오드 1, 2, 3가 같은 방법으로 진행하면서 다층 박막 증착이 이루어진다. 이온 건을

References

- [1] Y. KIM, D.MOON, J.SEO etc. "Introduction to Display Engineering," Textbooks, 2014.
- [2] H. KIM, W.KIM, D.PARK, K. LIM, "Display Engineering," NAEHA publisher. 2010.
- [3] C.W. Hur, "The DC magnetron sputtering vacuum deposition of indium tin oxide thin film," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol 14, no4, pp 935-938, 2010.DOI : 10.6109/jkiice.2010.14.4.935
- [4] K. MIN, K. LEE, T.KIM, J.JANG "Rapid Thermal Annealing Effect on the Magnetic Tunnel Junction with MgO Tunnel Barrier" *Journal of magnetics*, 25(2), 47-51. DOI : 10.4283/JKMS.2015.25.2.047
- [5] S. Y. Park, J. H. Lee, B. H. Choi, Y. K. Han, K. S. Lee. "Multi Layer Thin Film Deposition Using Rotatable Hexagonal Gun by Sputtering for the Insulating Glass," *The Korean Vacuum Society* , 314-315. 2012
- [6] J. LIM, W. LEE, Y.KIM, "Mechanical property analysis of Ti films using laser induced breakdown spectroscopy," *Korea Science & art Forum*, 31, 379-390. 2017

[7] S.K.HONG, "Preparation and ferroelectric properties of Pb(Zr,Ti)O₃ thin films by rf magnetron cosputtering method," Seoul National University, Ph. thesis. 1997

[8] K.M.LEE, "Study of Magnetic and Magneto-Optical Alloy Films by Scanning Force Microscopy," *The Journal of the Research Institute for Industrial Technology*, 13(1), 1998

[9] Jinyeol Kim, Yoshio, Jaegun Noh, "Transparent Multi-layer Conductive Electrode Film Prepared by DC Sputter Deposition and its Flat Panel Display Application," *Molecular Crystals & Liquid Crystals Science & Technology*, Section A, 2002
DOI:10.1080/713738533

Yung-Deug Son (Member)



1997 : BS degree in Control and Instrumentation Engineering, Korea Maritime University.

2001 : MS degree in Ocean Electro-Mechanical Engineering, Kobe University.

2015 : PhD degree in Electrical Engineering, Pusan National University.

1998 : Research student, Tokyo Institute of Technology

2001~2009 : Senior Research Engineer, Hyundai Heavy Industries Co.,LTD

2016~Present : Assistant Professor, Korea University of Technology and Education.

BIOGRAPHY

Sun-Jong Lee (Member)



2003 : BS degree in Electrical Engineering, Namseoul University.

2016~ : MS degree in Mechanical Facility Control Engineering, Korea University of Technology and Education

2001~Present : Senior Research Engineer, SunKyung E&I Co.,LTD

Heung-Ryol Yoo (Member)



2002 : BS degree in Electronics Engineering, SoonChengHang University.

2007: MS degree in Electronics Engineering, Kunkuk University.

2016~ : MS degree in Mechanical Facility Control Engineering, Korea University of Technology and Education.

2004~2013 : Senior Research Engineer, SEMES. Co.,LTD