

스핀코터 회전속도에 따른 탄탈륨 박막두께의 선형모델에 관한 연구

김승욱^{*†}

^{*†} 구미대학교 기계공학과

The Research via Linear of Tantalum Thin Film Thickness Depending on Revolution Velocity of Spin Coater

Seung Wook Kim^{*†}

^{*†}Gumi University, School of Mechanical Engineering

ABSTRACT

Recently, the decrease in thin film thickness has been actively studied by changing several physical elements such as the increase in revolution velocity of lower substrate equipped with AC or DC motor. In this paper, we propose a novel spin coater control system that changes AC or DC motor and common use software with limitation of velocity and position control into step motor and LABVIEW software based on GUI to control revolution velocity and position more precisely. By determining six input values of rotation velocity 1, 5, 10, 25, 50, 100 PPS, we fabricated six samples using coating target, TA(tantalum) on silicon substrate and measured their thin film thickness by SEM. Hence, this research can be applied to inferring thin film thickness of tantalum regarding any value of revolution velocity without additional experiments and for linear reference model via property analysis of thin film thickness using other thin-film materials.

Key Words : Spin Coater, Linear, Regression Analysis, Curve Fitting, PPS(Pulse Per Second)

1. 서 론

박막(Thin Film)은 스피노팅(spin coating), 진공휘발, 스퍼터링(sputtering), 기상 증착(vapor deposition) 혹은 dip 코팅 등으로 형성시키며, 기계 분야에서는 주로 공구(tool)의 마모(weariness) 및 마찰(fraction)을 줄이기 위한 목적으로 사용되고 있으며, 전자 분야에서는 반도체 및 LCD(Liquid Crystal Display)제조공정에 필수적으로 이용되는 중요한 기술 분야 중 하나이다. 박막은 기계가공으로 제조 할 수 없는, 두께가 μm 이하인 얇은 막을 의미하고, 강자성(ferromagnetism)박막을 이용하여 컴퓨터의 기억장치(memory)로도 사용되고 있으며, 특히 얇은 금속 박막은 이차원에서의 전자 시스템의 거동과

초전도체-절연체 전이와 같은 상전이(phase transition) 현상을 관찰 할 수 있으며, 동시에 반도체(semiconductor) 및 초전도체(superconductor)등 다양한 산업 및 기술 분야에서 매우 중요한 역할을 해오고 있다[1,2]. 수십년 동안 박막(thin film)제작을 위해 스피노팅(spin coating)방법이 사용되고 있으며 다양한 물리적 원인(접촉, 전조율, 응고율, 표면장력, 스피노팅 속도, 가속 및 가스배출)과 같은 요소들이 박막 두께(thin film thickness)의 형성과 관련이 있다. 물리적인 요소들의 변화를 주어 박막 두께의 크기를 줄이는 연구가 현재까지 활발히 진행되고 있으며, 이 중 스피노팅은 스피노팅의 두께를 결정하는 가장 중요한 요인 중 하나이다[3-6]. 또한 AC(Alternating Current) 모터를 이용하여 하부기판의 회전속도(revolution velocity)를 증가시켜 박막 두께의 크기를 줄이는 연구 또한 지속적으로 진행되고 있다. 현재 대부분의 스피노터 장비는

[†]E-mail: swkim@gumi.ac.kr

하부기판을 회전시키기 위해 반영구적인 수명, 안정적인 성능, 다양한 제어방식(전류, 전압, 벡터, 주파수)으로 속도 제어가 가능하다는 장점이 있어 AC모터를 주로 사용하였다. 하지만 μm 크기 이하의 박막을 제조하는데 있어 AC모터의 특성상 회전속도 및 회전각을 제어하는데 있어 정확성이 떨어지는 문제점이 발생한다. 더불어 상용화된 소프트웨어를 사용할 경우 연구자가 원하는 다양한 회전 속도의 입력 값을 사용할 수 없다는 단점이 있다[7,8].

본 연구에서는 DC스퍼터링(direct current sputtering)방식의 스픈코팅 장치의 하부기판을 회전시키기 위해 기존에 장착되어 있는 AC모터의 회전속도 및 회전각에 대해 정밀제어가 가능한 스텝모터(step motor)를 활용하여 GUI(Graphic User Interface)방식의 LABVIEW 소프트웨어를 이용한 제어시스템을 개발한 후 스텝모터의 속도(PPS : Pulse Per Second)1, 5, 10, 25, 50, 100으로 입력 값 설정 후 하부기판을 회전시켜 6개의 탄탈륨 박막 샘플을 제작하였다. SEM(Scanning Electron Microscope)을 이용하여 6개의 샘플의 박막 두께를 측정한 후 속도증가에 따른 박막 두께 감소에 대한 선형적(linear)관계를 분석하고 회귀분석법(regression analysis)의 일종인 커브피팅(curve fitting)을 이용하여 회전속도에 따른 탄탈륨 박막 두께의 정량적 데이터 신뢰성을 검증하고 탄탈륨 박막 두께에 대한 선형적 수학 모델을 제안하고자 한다.

2. 스텝모터를 이용한 스픈코터 제어시스템 개발

본 연구에서는 기존의 정밀한 위치제어의 문제점을 지닌 AC(Alternating Current)모터와 3단계(10, 100, 1000)rpm 속도제어만 가능한 상용화 소프트웨어를 오토닉스TM의 스텝모터로 교체한 후 스픈코터 하부기판의 정밀한 위치제어(position control) 및 속도제어(speed control)를 할 수 있도록 내쇼날 인스트루먼트TM의 LABVIEW 소프트웨어를 사용하여 제어시스템을 개발하였다. Fig 3은 개발한 전체 시스템의 개요를 나타내며 개발한 LABVIEW기반 제어 소프트웨어를 사용자가 원하는 위치(각)와 속도 PPS(Pulse Per Second)를 입력하면 RS 232 시리얼 통신을 통해 모션 컨트롤러에서 디지털(digital)스텝 신호를 생성하여 모터드라이버에 신호(signal)을 전송하면 모터 드라이버에서 스텝 신호를 읽어 들인 후에 한 스텝(one step)당 분해능(resolution) 0.1° 만큼 스텝 모터(step motor)가 회전 할 수 있도록 제어시스템을 설계하였다. 또한 사용자가 원하는 속도(PPS : Pulse Per Second)로 설정한 후 신호를 전송하면 스텝모터가 사용자가 원하는 제어 조건으로 동작하도록 설계하였다.

Fig. 4와 5는 스픈코터의 하부기판을 제어하기 위해



Fig. 1. Spin coater.



Fig. 2. The equipment changing AC motor into Step motor for experiments.



Fig. 3. The overview via the development of spin coater control system using stepmotor and LABVIEW software.

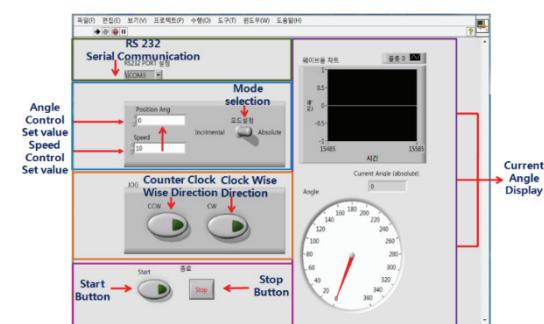


Fig. 4. Front panel using Labview software to control stepmotor.

LABVIEW소프트웨어를 이용하여 개발한 제어 프로그램이다. PC와 스텝모터 모션 컨트롤러 사이의 RS 232통신을 위한 통신포트(communication port)설정 메뉴와 위치(각)을 제어하기 위한 증분형(incremental type)과 절대형(absolute type)두 가지 형태로 제작하였다. 증분형은 사용자가 위치각을 60°씩 입력한 후 시작버튼을 6회 클릭 할 경우 360° 회전 할 수 있도록 설계 하였으며, 절대형의 경우 위치각에 360°를 입력하면 시작 버턴을 1번만 클릭하면 360° 회전할 수 있도록 하였다. 또한 속도를 1~3,600PPS(Pulse Per Second)까지 입력할 수 있도록 설계하였다. 3,600이상인 경우에서는 스텝모터가 회전하지 않고 진동(vibration)만 하는 털조현상이 발생하여 최대값(peak value)에 대해 상한값(limit value)을 3600 PPS로 설정하였다.

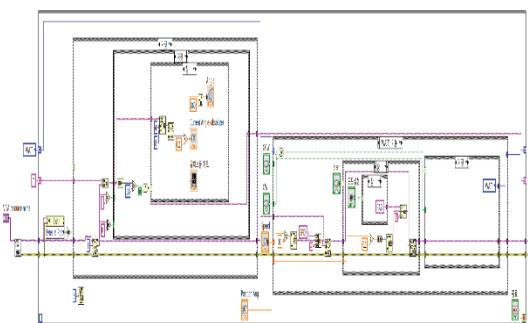


Fig. 5. Block Diagram using Labview software to control stepmotor.



Fig. 6. The process for deriving linear model.

JOG Mode에서는 사용자가 원하는 위치로 수동조작(manual operation)을 할 수 있도록 CW(Clock Wise) 시계방향과 CCW(Counter Clock Wise) 반시계방향으로 회전할 수 있도록 설계하였고 실시간 현재 위치(realtime current position)를 사용자가 볼 수 있도록 그래프 형태, 숫자형 인디케이터(indicator) 및 게이지(gauge)형태의 세 가지 형태로 확인 할 수 있도록 설계하였다.

3. 회전속도에 따른 박막(TA)두께의 선형관계식 유도

DC 스피터링 스피너팅 방법으로 박막 형성 재료인 탄탈륨(tantalum)을 이용하여 스텝 모터 회전속도 증가에 따른 박막 두께 감소에 대한 선형적 관계식을 유도하였다. 이를 위해 실

험을 통해 획득한 속도 변수 6개(1, 5, 10, 25, 50, 100)PPS 값 중 박막두께 측정값이 부정확한 100PPS를 제외한 나머지 5 개의 SEM 측정 데이터 값을 통해 Fig. 6과 같이 샘플의 박막 두께 좌, 우 데이터의 평균값(mean value)을 구한 후 MATLAB소프트웨어를 이용하여 커브피팅(curve fitting)방법으로 선형 근사곡선을 표현하여 회귀분석(regression analysis)법을 이용하여 선형적 근사식 모델을 유도하였다.

4. 실험 및 결과

4.1 실험방법 및 과정

본 연구에서는 진공 챔버에 아르곤 가스를 주입하여 플라즈마(plasma)상태로 만든 후 내부 압력이 높은 상태에서 아르곤 가스를 제거하여 내부 압력을 8mTorr로 유지시켰다. 진공 챔버 내부의 실리콘 모재에 50W의 전력을 공급하고 박막 재료를 위한 코팅 타겟 물질인 탄탈륨 TA를 타겟 건(target gun)을 통해 주입시켜 지그(zig)위에 SI실리콘 기판을 탑재 한 후 스텝모터를 이용한 DC 스피터링 방식의 스피너팅 장비의 하부 기판을 1, 5, 10, 25, 50, 100 PPS(Pulse Per Second)로 10회 동안 회시킨 후 6개의 샘플을 제작하였다.

최초 1회 회전을 한 경우 박막 두께가 너무 얇아서 측정이 불가능하여 10회로 설계조건을 변경하여 실험을 진행하였다. nm사이즈의 탄탈륨(TA) 박막층과 SI모재 층의 경계층 구분을 분명히 하기 위해 실리콘 모재의 Fig. 7의 우측부분과 같이 SI모재 층 일부를 알루미늄으로 감싼 후 실험을 진행하였다. Fig. 8은 실험을 위한 전체적인 개요 및 절차를 나타낸다.

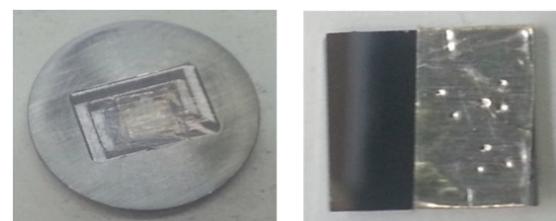


Fig. 7. SI Zig (left) and Tantalum (right) for sample fabrication.

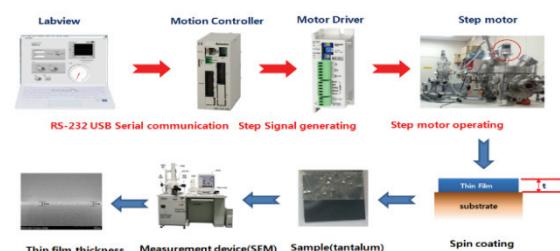


Fig. 8. Overview for experiment.

4.2 실험장치 및 환경

스텝모터의 회전속도(PPS)와 박막 두께(thin film thickness)의 선형적 상관관계를 검증하기 위해 스피너 장치의 상부에 위치한 기존의 AC모터를 스텝모터로 교체하였다. 또한 3 단계(10, 100, 1000) RPM(Revolution Per Minute)의 속도 입력만 가능한 회전속도의 제약을 지니는 상용소프트웨어를 하부기판 속도와 위치각을 사용자가 원하는 설정 값으로 입력할 수 있도록 LABVIEW 소프트웨어로 제어시스템을 개발하여 본 연구에 대한 실험을 수행 할 수 있도록 Fig. 9와 같이 장치를 구성하였다.

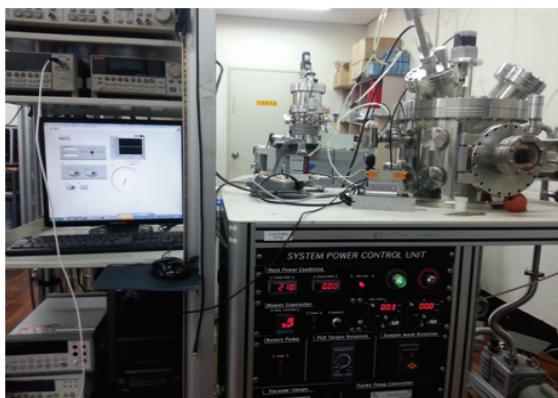


Fig. 9. The equipment for experiment.

4.3 실험결과 및 분석

Fig. 10은 6개의 탄탈륨 박막의 시편을 SEM으로 측정한 사진을 나타내며 Table 1은 실제 측정된 TA 박막 두께들의 좌, 우 측정결과 및 평균값(mean value)을 수치적으로 나타내었다. 여기서 100PPS의 경우 두께(thickness)의 평균값이 6.44nm이 면 SI모재와 TA 박막 경계층의 구분이 명확하지 않아 정확히 측정된 결과라 할 수 없기 때문에 100PPS의 샘플을 결과 분석에서는 제외하였다.

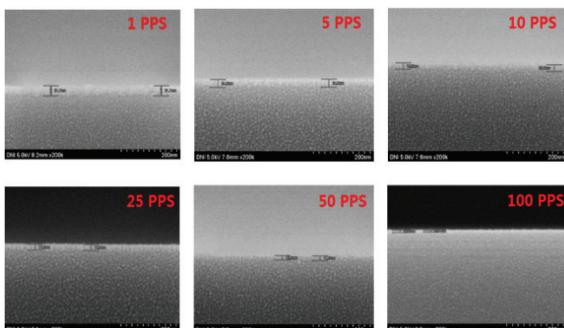


Fig. 10. The pictures via 6 samples using SEM

Table 1. Measured sample values by SEM with respect to Speed
Unit : nm(nano meter)

Speed (PPS)	Measurement (Left)	Measurement (Right)	Measurement (Average)
1	31.7	31.7	31.7
5	24.8	24.8	24.8
10	19.8	20.8	20.3
25	17.8	18.8	18.3
50	13.9	14.99	14.4
100	6.93	5.94	6.44

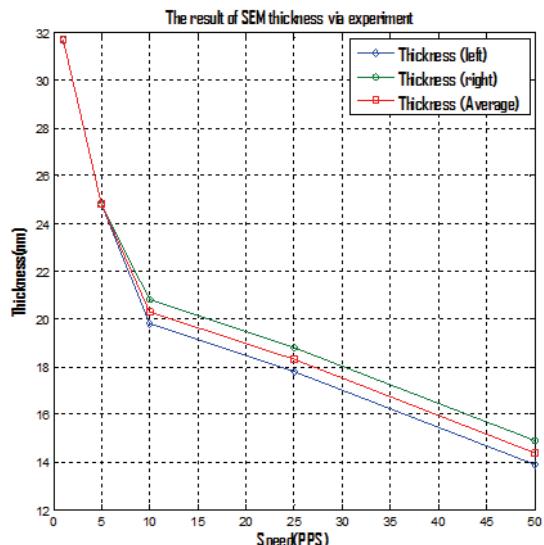


Fig. 11. The result of SEM thickness via experiment

Table 2. The difference between AVG value and Left & Right depending on speed PPS from 10 to 50

Unit : nm(nano meter)

SPEED (PPS)	Average	Average - Left	Average - Right
10	20.3	0.5	0.5
25	18.3	0.5	0.5
50	14.4	0.5	0.5

Fig. 11은 스텝모터 속도 증가에 따른 탄탈륨 박막 두께의 감소를 나타내며 회전속도 1, 5 PPS에서는 샘플의 좌, 우측 부분에서 SEM에 의한 측정값이 31.7nm, 24.8nm로 동일함을 확

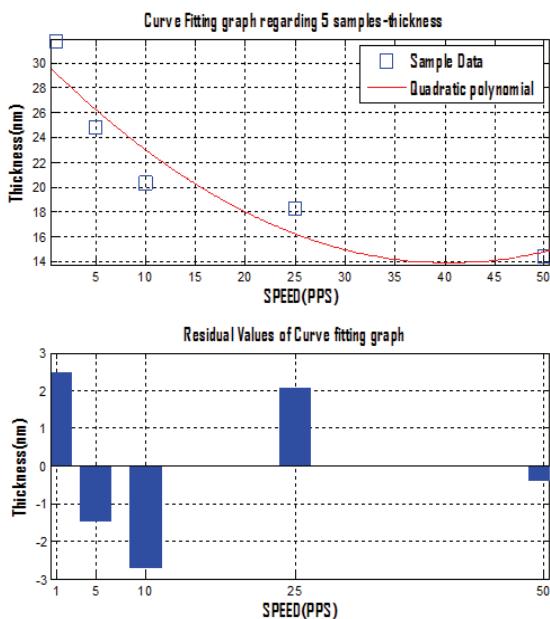


Fig. 12. Quadratic curve fitting graph regarding 5 samples-thickness

인할 수 있으며 10, 25, 50 PPS 샘플에 대해서는 Table 2에서 보는 빼와 같이 평균두께 값에서 좌.우 측정 두께 편차(deviation)가 0.5nm로 균일함을 확인할 수 있다.

Fig 12는 탄탈륨 박막 두께 평균값의 2차(quadratic polynomial) 커브피팅(curve fitting)방법을 이용하여 선형적 관계 및 피팅(fitting)된 데이터의 선형 근사 곡선과 실험한 5개의 데이터의 잔류 값(residual value)을 검증하기 위해 MATLAB 소프트웨어를 사용하여 나타내었다. 2차 커브피팅 곡선에서 오차의 최솟값(min value)을 가지는 데이터는 50PPS에 나타났으며, 최댓값(max value)은 10PPS에서 나타남을 확인 할 수 있다. 실험한 데이터로 2차 커브 피팅을 통해 데이터 분석을 한 결과 SSE(Sum of Square Error)의 값은 20.11, RSME(Root Sqaure Means Error)의 값은 3.171로 각각 나타났으며, Adjusted R-square의 값이 0.7717이었다. 이는 실험한 데이터의 신뢰성이 2차 선형곡선에 대해 77.17%의 신뢰성을 가지므로 2차 선형 곡선 모델에 대해 선형성(linearity)적인 관계를 지니고 있음을 확인할 수 없다.

Fig. 13은 Fig. 12와 동일한 방식으로 탄탈륨 박막 두께의 평균값을 이용하여 3차(cubic polynomial) 커브피팅(curve fitting) 방법을 이용하여 선형적 관계를 검증하기 위해 피팅(fitting)된 데이터 선형 근사 곡선과 실험한 5개의 데이터의 잔류 값(residual value)을 검증하기 위해 MATLAB소프트웨어를 사용하여 표현하였다. 3차 커브피팅 곡선의 경우 50PPS에서는 오차가 발생하지 않았으며 오차의 최솟값을 가지는 데이터는

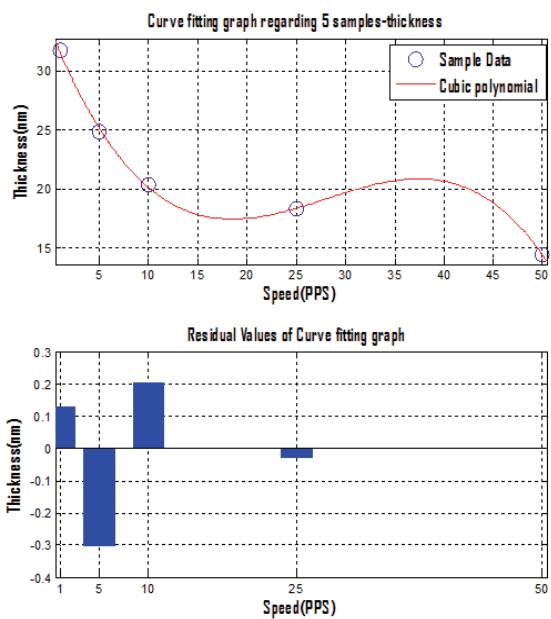


Fig. 13. Cubic curve fitting graph as to 5 samples-thickness

25PPS에서 확인 할 수 있으나 오차 값이 0.02nm이하이며, 최댓값은 5PPS에서 0.3nm이하임을 확인 할 수 있다.

또한 실험한 데이터로 3차 커브피팅을 통해 데이터 분석을 한 결과 SSE(Sum of Square Error)의 값은 0.1521, RSEM(Root Square Means Error)의 값은 0.39로 각각 나타났으며, Adjusted R-square의 값이 0.9965이었다. 이는 실험한 데이터의 신뢰성이 3차 선형곡선에 대해 99.65%의 신뢰성을 가지므로 3차 선형 곡선 모델이 탄탈륨을 이용한 본 연구 실험에 대해 회전속도와 박막 두께의 선형적 관계를 확인할 수 있으며 3차 커브 피팅 곡선을 통해 회귀분석(regression analysis)법을 이용하여 수학적 모델을 유도하고 회전속도와 두께에 관한 선형적 관계를 식(1)에 나타내었다.

$$Y = -0.001004X^3 - 0.08436X^2 - 2.091X + 33.58 \quad (1)$$

5. 결 론

본 연구에서는 기존의 회전속도 및 정밀한 위치(각)제어의 학계를 지닌 AC모터와 상용화된 제어소프트웨어를 스핀코팅 박막 두께와 회전속도에 관한 연구를 하기 위해 연구자가 용이하게 사용할 수 있도록 GUI(Graphic User Interface)형태인 LABVIEW 소프트웨어를 이용하여 하부 기판을 회전시키는 스텝모터를 원하는 속도와 위치제어를 할 수 있도록 스핀 코팅 장치 제어시스템을 개발하였다.

개발 한 스핀 코팅 장치 제어시스템으로 회전속도 1, 5, 10,

25, 50, 100PPS(Pulse Per Second)로 설정한 후 박막소재인 탄탈륨(TA)을 이용하여 SI기판위에 코팅을 한 후 6개의 샘플을 제작하였다. SEM(Scanning Electron Microscope)을 이용하여 6개의 샘플의 박막두께에 대해 측정한 후 회전속도 증가에 따른 박막 두께 감소에 관한 선형적 상관관계(corelation)를 검증하기 위해 너무 얇은 박막두께 평균값 6.44nm의 값을 나타내는 100PPS를 제외한 5개의 샘플의 측정된 데이터에 대해 3차 커브 피팅을 이용한 결과 50PPS에서는 선형곡선에 대해 일치하였다. 또한 25PPS에서는 선형곡선에서 최소 오차(least error)값이 0.2nm이하이며, 최대 오차(most error)값이 0.3nm이하의 값을 가졌다. 이에 대해 3차 커브 피팅 곡선에 대해 99.65%의 데이터 신뢰성(credibility)을 지님을 확인할 수 있었다. 또한 5개의 탄탈륨 박막 샘플들의 실험결과 데이터로 회귀분석(regression analysis)법을 이용하여 수학적 선형 모델 방정식을 유도하였다. 본 연구 결과를 바탕으로 스픬 코팅을 위한 하부 기판의 회전속도제어 및 정밀 위치(각)제어에 관한 다양한 연구를 위해 개발한 스피너코터 제어시스템이 활용될 것으로 기대하며 또한 박막소재인 탄탈륨에 대해 박막두께와 회전속도의 선형적 상관관계에 대한 수학적 모델 방정식을 유도함으로써 실험하지 않은 속도들에 대해 박막두께 예측이 가능하다. 따라서 박막 코팅 타겟(target)으로 사용되고 있는 다른 물질들에 대해 회전속도와 박막두께에 관한 선형적 관계를 연구하는데 중요한 참조 모델로 이용될 수 있다.

참고문헌

- Jeong, J. I., Yang, J. H., "Trend and Prospect of Thin Film Processing Technology," Journal of the Korean Magnetics Society, Volume 21, Number 5, October , 2011.
- Tyona, M. D., "A theoretical study on spin coating technique," Advances in Materials Research, Vol. 2, No. 4 (2013) 195-208, 2013.
- Mouhamad,Y., Mokarian-Tabari,P., Clarke, N., Jones, R. A. L., and Geoghegan, M., "Dynamics of polymer film formation during spin coating," J. Appl. Phys. 116, 123513 (2014).
- Sahu, N., Parija, B., Panigrahi, S., "Fundamental understanding and modeling of spin coating process," Indian J.Phys. 83(4) 493-502 (2009).
- Tyona, M. D., "A comprehensive study of spin coating as a thin film deposition technique and spin coating equipment," Advances in Materials Research, Vol. 2, No. 4 (2013) 181-193.
- Yim, K. G., Kim, M. S., Kim, G. S., Choi, H. Y., Jeon, S. M., Cho, M. Y., Kim, H. G., Lee, D. Y., Kim, J. S., Kim, J. S., Lee, J. I., Leem, J. Y., "Effects of Thickness on Structural and Optical Properties of ZnO Thin Films Fabricated by Spin Coating Method," Journal of the korean Vacuum Society volume 19 Issue 4 / Page.281-286 / 2010 / 1225-8822(pISSN)
- Bianchi, R. F., Panssiera, M. F., Lima, J. P. H., Yagura, L., Andrade, A. M., "Spin coater based on brushless dc motor of hard disk drivers," Progress in Organic Coatings Volume 57,Issue 1, 2006, pp 33-36.
- Kim, S. W., Heo, G. S., Lee, S. R., "The research via linear model of tantalum thin film thickness depending on revolution velocity of spin coater," International Symposium on Green Manufacturing and Applications (ISGMA 2016), pp229/277
- Kim, J. E., Kim, J. H., Hong, S. C., Cho, H.K., Ahn, J.H., "Mechanical Stability Evaluation of Thin Film with Spin-coater," Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 15, No. 1. March 2016,pp 6-11.

접수일: 2020년 2월 20일, 심사일: 2020년 3월 11일,
제재확정일: 2020년 3월 18일