

R.F. Sputtering 방법에 의한 상변화형 광디스크의 $(ZnS)_{1-x}(SiO_2)_x$ 보호막 형성에 미치는 전극거리의 영향

이준호·김도훈
연세대학교 공과대학 재료공학부

The Effects of Electrode Distance on the Formation of $(ZnS)_{1-x}(SiO_2)_x$ Protective Films in Phase Change Optical Disk by R.F. Sputtering Method

J. H. Lee and T. H. Kim
Dep. of Materials Science and Engineering, Yonsei University,
134 Shinchondong, Seodaemunku, Seoul 120-749

(1999년 7월 23일 받음. 1999년 11월 3일 최종수정본 받음)

초 록 상변화형 광디스크는 직접 반복기록에 의한 고속기록, 고밀도화가 가능하고 높은 전송속도, 재생신호의 C/N(carrier to noise) 비가 좋은 장점을 가지고 있으나 반복되는 열에너지에 의한 디스크의 변형과 소거도의 저하, 기록 반복성의 저하가 문제가 된다. 이러한 반복성의 저하를 개선하기 위해 적절한 디스크의 구조와 기록막의 상하부에 유전체 보호막인 ZnS-SiO₂ 박막층을 삽입하였다. 박막 제조시 많은 실험변수의 제어를 위해 다꾸찌 방법을 통하여 타겟 R.F. Power 200W, 기판 R.F. Power 20W, 아르곤 압력 4mTorr, 전극거리 6cm의 최적조건을 얻을 수 있었다. TEM과 XRD분석 결과, 전극거리가 가까워질수록 높은 증착속도로 인하여 미세한 조직구조를 가지고 있으며, 일정거리 이상 가까워지면 막의 morphology에 나쁜 영향을 끼침을 알 수 있었다. 이러한 막의 morphology의 영향으로 투과율이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. AFM과 SEM분석에서는 전극거리가 가까워질수록 높은 증착속도로 인하여 morphology에 나쁜 영향을 끼치고 있음을 확인할 수 있었다. 최적조건에서 증착한 박막은 우수한 morphology를 가진 초미세구조의 치밀하고 결함이 없는 박막이었다. 이 박막은 상변화형 광디스크에서 열적 변형을 억제하고, 열전도도를 감소시켜 우수한 유전체 보호막의 역할을 할 수 있다. 그리고, 전극거리가 ZnS결정립의 크기와 증착속도, morphology에 미치는 영향에 대해 고찰하였다.

Abstract Phase-change optical disk gives very rapid recording, high densification of data, resulting in high feedback rate and good C/N(carrier to noise) ratio of a feedback signal. However, repetitive thermal energy may cause the deformation of a disk or the lowering of an eliminability and a cyclability of the recording. The lowering of the cyclability can be reduced by insertion of thin layer of ZnS-SiO₂ dielectric thin film in appropriate disk structure between the upper and lower part of the recording film. Using the Taguchi method, optimum conditions satisfying both the optimized quality characteristic values and the scattering values for film formation were found to be the target R.F. power of 200W, the substrate R.F. power of 20W, the Ar pressure of 6mTorr, and the electrode distance of 6cm. From the refractive index data, the existence of the strong interaction between the electrode distance and Ar pressure was confirmed, and so was the large effect of the electrode distance on transmittance. According to the analysis of TEM and XRD, the closer the electrode distance was, the finer was the grain size due to the high deposition rate. However, the closer electrode distance brought the negative effect on the morphology of the film and caused the reduction of transmittance. AFM and SEM analyses showed that the closer the electrode distance was, the worse was the morphology due to the high rate of the deposition. Under optimum condition, the deposited thin film showed a good morphology and dense microstructure with less defects.

1. 서 론

주기율표에서 6족을 근간으로 하는 chalcogenide계 재료를 이용한 전기스위치 소자가 1968년에 Ovinshinsky에 의하여 제안된 이래, 재료의 결정과 비정질간의 가역적 변태(reversible phase transformation)를 이용하여 정보를 기록하는 광기록 방식이 처음 소개되었다.^{1,2)} 상변화형 광디스크는 현재 실용화되어 있는 광자기 디스크(magneto-

optical disk, MOD)에 비하여 다음과 같은 본질적인 장점이 있다. 즉 반도체 레이저광의 출력을 변화시키면서 비접촉 기록, 소거 및 재생이 가능하며, 광학적 성질을 이용하기 때문에 기록과정에서 외부자제를 필요로 하지 않아 바이어스 인가에 필요한 자기헤드가 없어도 된다. 기록과 소거가 레이저광의 파워변조(modulation)에 의하여 행하여질 수 있으므로 단일빔에 의한 직접 덮어쓰기가 가능하다. 또한 고기록, 고밀도화가 가능하며³⁾, 재생신호의 C/N(carri-

er to noise) 비와 전송속도가 높다는 이점이 있고⁴⁾, 특히 직접 반복 기록(direct overwrite)이 가능하다는 큰 장점을 가지고 있다. 그러나, 반복되는 열에너지에 의한 디스크의 변형과 기록막의 성능저하, 그리고 열적 및 화학적 안정성의 저하로 인하여 장시간의 신뢰성과 반복성(cyclability)이 감소하는 문제가 있다.⁵⁾ 따라서 기록층인 합금박막의 산화와 열화등의 성능저하를 방지하고, 장기간의 신뢰성을 높이기 위하여 상변화형 디스크는 기록막 상하부에 고용점의 투명한 유전체 박막을 삽입⁶⁾시켜 이를 개선하는 연구가 집중되고 있다. 앞선 연구자들에 의해서 현재까지 많은 산화물계⁶⁾, 질화물계⁷⁾, 황화물계⁷⁾들이 보호막 재료로 연구되어 왔으며, 그중에서 ZnS-SiO₂ 유전체막은 광학적으로 투명하여, 높은 용점과 고굴절율을 가지므로 보호막재료로서 우수한 성질을 갖는 것으로 보고되었다.¹⁰⁾ 이러한 보호막 성능향상의 관건은 결정질의 ZnS와 비정질 SiO₂가 8:2의 몰비로 상호 고용체를 형성하지 않고 비정질의 SiO₂가 결정질의 ZnS의 성장을 억제하여 초미세구조를 이루어야하고 결합이 없는 치밀한 유전체박막을 얻는 것이다. 이로 인하여 열전도도를 낮춤으로서 기록시 레이저빔의 효율을 증가시켜 낮은 출력의 레이저빔으로 디스크를 작동시켜 열변형을 완화시킬 수 있다. 또한 고온에서 구조적으로 안정한 상을 유지하여 반복되는 열충격에 안정하다. 본 연구에서는 유전체 보호막의 고유성질을 극대화시킬 수 있는 최적의 증착조건을 다구찌 실험계획법을 통하여 접근을 시도하고, 전극간의 거리가 유전체 박막 형성시 미치는 영향을 고찰하여 상변화형 광 디스크의 기록반복성 개선을 위한 보호막 설계에 기초적 자료를 제공하는데 목적이 있다.

2. 실험방법

본 실험에서는 ZnS-SiO₂(80:20mol%) 화합물 타겟을 Ar가스 분위기에서 스퍼터링시켜 증착하였다. 기판으로는 Si(100)와 투과율 측정을 위한 기판으로 Corning사의 7059번 유리 기판을 사용하였다.

기판 bias를 이용한 R.F. magnetron 스퍼터링법을 이용하여 박막을 증착할 경우 기판 온도, 타겟 R.F. power, 기판 R.F. power, 아르곤 압력, 타겟과 기판간의 전극거리, 증착시간, 가스의 종류 등 많은 실험변수가 있다. 이러한 변수들을 효과적으로 제어하면서 실험수를 줄여가면서, 최적의 증착 조건을 얻기위하여 본 실험에서는 다구찌 실험계획법을 이용하여 실험을 수행하였다. 실험변수로 타겟 R.F. power, 기판 R.F. power, 아르곤 압력, 전극거리를 실험변수로 설정하였다. 다구찌 실험계획법⁸⁾을 위한 실험변수의 범위 설정을 위하여 예비실험을 통하여 실험변수의 수와 종류, 그리고 그 범위를 선정한 결과 여러 실험변수들 중에서 타겟 R.F. power, 기판 R.F. power, Ar 압력, 전극간의 거리를 실험인자(factor)로 설정하였다. 이에 따른 실험인자의 종류와 수준(level)은 표 1과 같다.

이렇게 선정된 4개의 인자와 3개의 수준을 가지고 실험계획법을 수행하기 위하여 적절한 직교배열표를 선택하여야 한다. 따라서 교호작용 분석이 가능한 L₂₇(3¹³)의 직교배

Table 1. Configuration of Factors and Levels.

Factor	Target	Electrode	Ar Working	Substrate
	R.F. Power (W)	Distance (cm)	Pressure (mTorr)	R.F. Power (W)
Level	[A]	[B]	[C]	[D]
0	100	8	2	20
1	200	6	4	50
2	300	4	6	80

열표를 선택하였으며 선택한 직교배열표에 따라 27개의 실험조합이 결정되었고, 제어할수 없는 인자에 대한 오차를 줄이기 위하여 순서를 random화하여, 이에 대해 각각 2번의 반복 실험을 수행하였다. 이를 실험계획법의 직교배열법에 따라서 배치하여 본 실험을 수행하였다. 그 후 증착된 시편 각각에 대해서 특성치를 평가하고, 이에 대한 signal/noise비와 민감도를 구하여 최적조건을 설정하였다.

증착된 ZnS-SiO₂ 박막의 두께를 측정하기 위하여, 스퍼터링 전에 기판에 유성펜으로 선을 긋고 박막을 입힌 후, 선을 그은 부분을 아세톤으로 제거하여 시편에 단차를 만들어 주었다. 두께 측정은 VEECO사의 Dektak3를 사용하였다. 본 실험에서는 직교배열표에 따른 27개의 실험 조합의 조건들과 전극간 거리를 달리하여 증착된 시편의 두께를 측정하였다. Dektak을 사용시 표면의 먼지 등의 입자들에 의한 두께의 오차를 줄이기 위하여, 측정된 두께는 굴절율을 측정시 사용한 ellipsometer를 이용한 두께측정결과와 비교하여 신뢰성 있는 값을 채택하였다. 증착조건에 따른 굴절율 변화의 경향성을 관찰하기 위하여 Si 기판 위에 ZnS-SiO₂ 박막을 증착한 후, ellipsometer를 사용하여 굴절율을 측정하였다. 상변화형 디스크의 유전체 보호막의 역할 중에서 기록층의 효율적인 레이저 빔의 전달을 위하여서는 유전체막의 에너지 손실이 적어야하므로 ZnS-SiO₂ 박막의 투과성이 좋아야 한다. 투과율 측정을 위하여 유리 기판의 투과율을 측정하여 참고치로 하고, 그후, 그 유리기판 위에 ZnS-SiO₂ 박막을 증착시켜 UV-VIS-Scanning Spectro Photometer (330 model)를 사용하여 투과도를 측정하였다.

스퍼터링 작업조건에 따른 ZnS-SiO₂ 박막의 상 및 결정성을 조사하기 위하여 X선 회절 분석을 수행하였고, 박막의 상 및 미세조직을 조사하기 위하여 TEM 분석을 수행하였다. 박막의 표면증착상태를 조사하기 위하여 SEM을 이용하여 단면을 조사하고, 증착된 박막의 전극간 거리에 따른 막의 표면상태를 분석하기 위하여 AFM 분석을 수행하였다. 증착된 박막의 열저항성을 평가하기 위하여 최적조건에서 증착된 박막 시편을 진공상태에서 700°C로 20분간 열처리를 수행하였다. 열처리후 박막의 결정성의 변화를 조사하기 위하여 열처리된 시편을 XRD 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

상변화형 디스크 보호막의 역할은 레이저 조사에 의한 기판의 열변형 억제와 레이저의 광학적 흡수의 높은 효율을 가져야 하며, 광학적 상수의 조건을 만족시켜야 한다. 유전

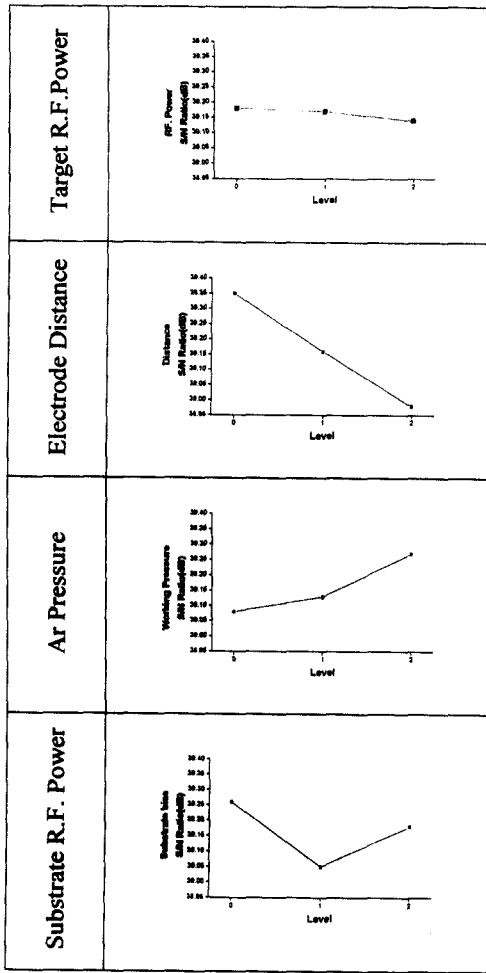


Fig. 1. ANOM of S/N ratio for transmittance.

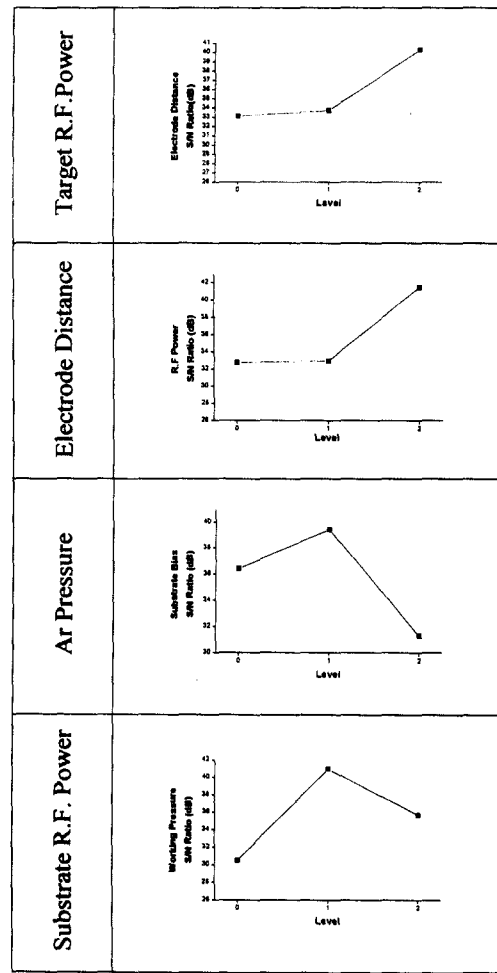


Fig. 2. ANOM of S/N ratio for refractive index.

체 보호막의 열저항 기구는 ZnS의 미소결정 입계에 SiO₂가 분산되어 ZnS의 결정성장을 억제하여 치밀한 막구조와 나노스케일 단위의 미세결정구조를 이루어 막전체의 적절한 열전도도와 비열을 갖게하여 조사된 레이저의 열원을 효과적으로 사용하여 열변형을 줄이는 것이다. 그러므로 굴절율과 투과율을 관찰하였고 여기에 박막 표면의 morphology를 조사하여 유전체막의 전체적인 품질평가를 하였고, 막의 높은 투과율과 최저값의 굴절률을 통하여 막의 최적조건을 결정하였다. 디스크의 유전체 보호막으로 쓰이는 ZnS-SiO₂ 박막은 사용과장 범위에서 높은 투과율을 가져야 빔의 에너지 손실없이 기록막의 기록 민감도를 증가시킬수 있다.

그러므로 실험인자의 각 수준에 대하여 어떠한 수준이 최적인지 알아보기 위하여 평균분석 (ANOM)을 실시하였고 어떠한 인자가 특성에 미치는 영향이 가장 큰가를 알아보기 위하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였다. 표 1은 평균분석 결과이다. 각 인자에 대하여 S/N비가 클수록 최적의 조건이므로 표 1의 결과를 가지고 타겟 R.F. power 200W, 기판 R.F. power 20W, 아르곤 압력 6mTorr, 전극거리 8cm에서 각 인자에 대한 최적의 수준을 구할수 있었다. 투과율에 대한 분산분석의 결과는 표 2와 같다. 분산

Table 2. ANOVA for S/N Ratio for Transmittance after 4- Pooling.

Parameter	S.S	ϕ	V	F ₀	F(005)
Electrode distance	0.64139	2.00	0.32069	4.72915	3.403
Error	1.62749	24.00	0.06781		
Total	2.26888	26.00			

S.S: 인자의 변동, ϕ : 자유도, V: 불변분산, F₀: 각 인자의 분산을 오차의 분산으로 나눈값

Effective Factors for S/N ration : Electrode distance

분석시 수행된 F-검정에서 F₀가 F(005)보다 큰 경우에 95%의 유의수준에서 그 인자가 특성에 영향력이 있다고 하며, 통상 2이상의 F₀값을 가지는 인자는 그 유의성이 인정된다. 투과율의 경우는 전극간의 거리만이 의미있는 인자로 F₀가 4.72915로 투과율의 S/N비에 큰 영향을 끼치는 주요한 인자로 판명되었다. 전극간의 거리가 가까워질수록 투과율의 저하가 있음을 알 수 있으며 이것은 전극간의 거리가 가까워짐에 따라 박막의 표면거칠기가 증가하고 또한 전극간의 거리가 감소함에 따라 빠른 증착속도로 인하여 내부에 기공과 미소균열이 발생하여 전자의 산란에 의하여 흡수가 증가하여 투과율이 저하된 것으로 사료된다. 상변화

Table 3. ANOVA for S/N ratio for Refractive Index.

Parameter	SS	ϕ	V	F_0	F(005)
Target R.F. Power	442.60336	2.00	221.30183	1.80460	3.634
Target R.F. Power Electrode Distance	517.33894	2.00	258.66947	2.10931	3.634
Ar Pressure	494.16747	2.00	247.08373	2.0148	3.634
Electrode Distace Ar Pressure	1321.8838	2.00	660.94149	5.38936	3.634
Substrate R.F. Power	618.9770	2.00	309.48885	2.52372	3.634
Error	1962.1136	2.00	122.63210		
Total	5357.0853	16.00			

Effective Factors for S/N ratio : Electrode Distance and Ar Pressure

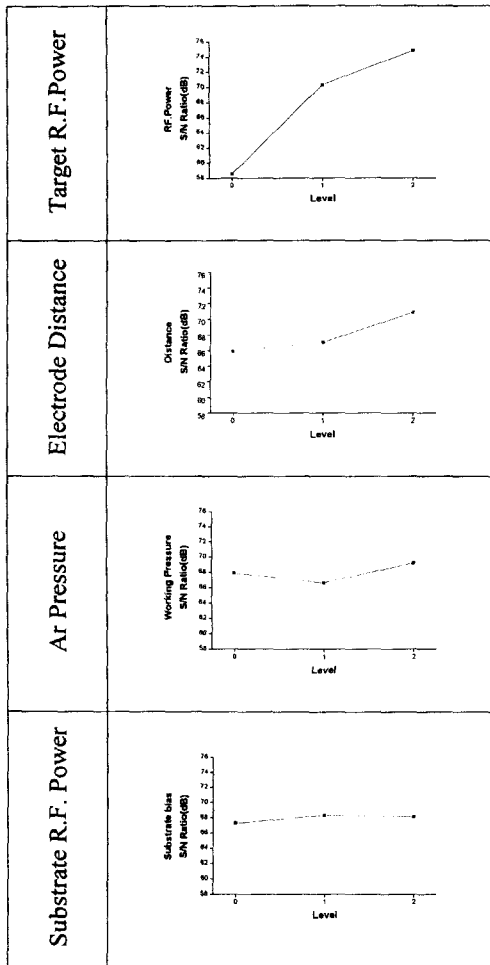


Fig. 3. ANOM of deposition rates due to factors and levels.

형 광디스크에 쓰이는 유전체 박막 ZnS-SiO₂ 굴절율은 2~3 사이를 가질 때 최적이다. 평균분석 (ANOM)을 수행한 결과는 표 2와 같다. 평균분석 결과 굴절율에 대하여 타겟 R.F.power 300W 기판 R.F. power 50W, Ar 압력 4mTorr, 전극간의 거리 4cm에서 각 인자에 대한 최적의 수준을 얻을 수 있었다. 표 3의 분산분석 (ANOVA) 결과 굴절율의 S/N비에 영향을 끼치는 인자로 전극간의 거리와 Ar 압력이 큰 영향을 미치는 것으로 판명되었다.

ZnS-SiO₂박막을 증착시킨 후 각각의 실험인자들이 박막의 증착속도에 미치는 영향에 대하여 알아보았다. 표 3은

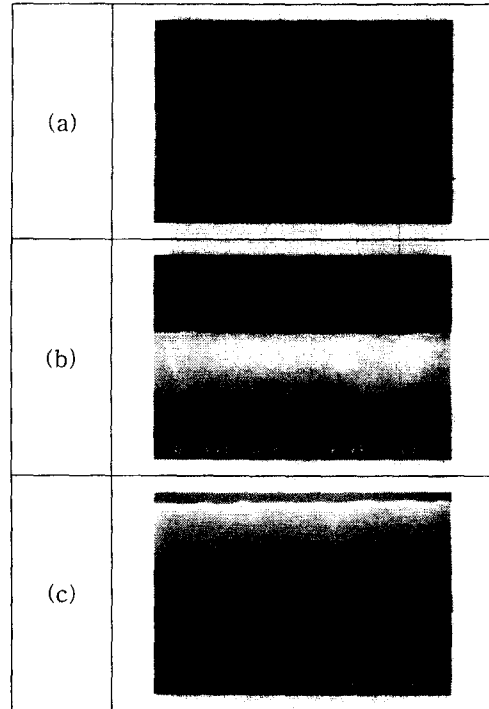


Fig. 4. Cross section of ZnS-SiO₂ by SEM.

Table 4. AFM data.

Electrode Distance	R _p -V	Rms Rough (Å)	Aver Rough (Å)	비고
8cm	69.1	6.05	4.69	1 μ m
6cm	247	6.37	4.85	1 μ m
4cm	237	8.04	6.19	1 μ m

실험인자에 의한 특성치의 평균분석 결과이다. 타겟 R.F. power가 증가할수록 증착속도가 증가하고 기판 R.F. power는 증착속도가 증가하다가 다시 감소하는 경향을 가지며, 전극간의 거리가 가까워질수록 증착속도가 증가하는 경향을 보인다. 빠른 증착속도에서는 상분리가 일어날 가능성이 적어 미세하게 분산된 혼합상을 만들 수 있다. 그러나 일정 증착속도 이상이 되면 표면의 기복이 심해지게 된다.

전극간의 거리의 변화에 따른 표면 거칠기의 변화를 알아보기 위하여 SEM을 이용하여 60000배율에서 관찰하여 보

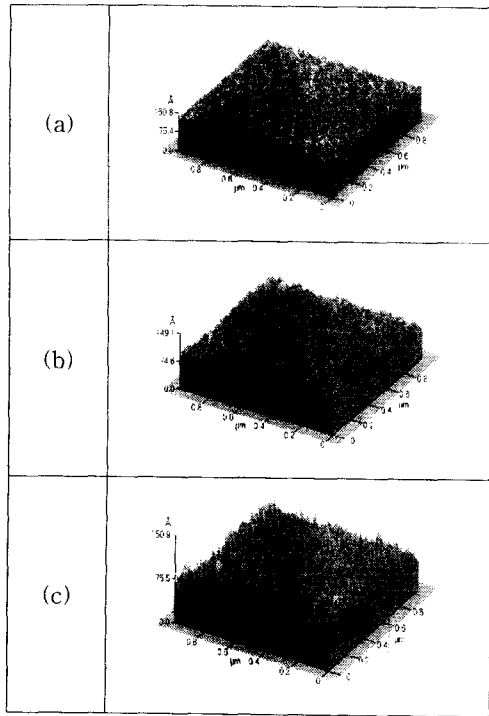


Fig. 5. AFM images of ZnS-SiO₂ morphology.

았으며 분석 결과는 표 4와 같다. 최적조건의 시편에 전극간의 거리를 달리하여 시편을 준비하였다. SEM 분석 결과 표면의 거칠기는 구분이 되지 않았으며, 박막단면을 보면 전극간의 거리가 가까워질수록 표면의 거칠기가 증가하고, 증착속도는 증가하는 경향을 알 수 있었다. 이것은 전극간의 거리가 가까워지면 증착속도의 증가로 인하여 표면의 거칠기가 증가한 것으로 사료된다. 자세한 표면의 거칠기를 조사하기 위하여 다음의 AFM 분석을 실시하였다. 전극간의 거리의 변화에 따른 표면 거칠기의 변화는 표 4와 같다. 전극간의 거리가 가까워짐에 따라 RMS roughness와 Ra roughness가 증가함을 알 수가 있다. 전극간의 거리가 가까워지면 증착되는 입자들이 충분히 확산할 시간이 없이 다

른 입자들이 증착되기 때문에 거칠기가 증가하게 된다. AFM 분석 결과 SEM 사진 분석과 마찬가지로의 결과를 얻을 수 있었다. 그림 5는 AFM 분석 결과를 3-D image화한 결과이다.

그림 7은 최적조건의 시편에서 전극간의 거리를 변화시키면서 증착한 박막의 X-선 회절분석 결과이며, 피이크가 28° 부근에서 결정성을 가지고 성장함을 확인할 수 있다. 이 피이크는 ZnS (111) 피이크에 해당되며, 이 외의 대부분의 피이크는 비정질을 나타내는 넓은 피이크를 갖는다. 전극간의 거리가 멀어짐에 따라 28° 부근의 피이크가 확실한 결정성을 가지며 크고 날카롭게 성장함을 확인할 수 있었다. 이러한 현상은 전극간의 거리가 멀어짐에 따라 증착속도가 감소하게 되고, 결정질의 ZnS가 비정질의 SiO₂로 상분리가 일어나면서 ZnS 입자의 크기가 성장하여 결정성이 나타난 것으로 사료된다. 최적조건의 시편에서의 XRD 분석을 보면 피이크들이 낮고 넓게 형성됨을 관찰할 수 있으며, 원자확산의 시간적 여유없이 기판에 도달한 원자들이 강제적으로 분산된 혼합상을 이루고, 상분리를 억제하여 초미세구조의 분산된 ZnS 결정상이 나타나는 것으로 사료된다. XRD에 나타난 박막의 미세구조에 대한 보다 자세한 분석을 위하여 투과전자현미경의 회절패턴과 명시야상을 분석하였고, 그 결과 같은 경향성을 가짐을 확인할 수 있었다. 전극간의 거리에 따른 투과전자현미경의 회절패턴과 명시야상은 다음 그림 6과 같다. 전극간의 거리가 가까워짐에 따라 미세한 결정립을 확인할 수 있으며, 이것은 전극간의 거리가 가까워짐에 따라 증착속도의 증가로 인하여 ZnS의 결정성장이 억제되어 동심원의 회절패턴은 미세한 다결정의 형태, 즉 비정질에 가까운 상태로 존재함을 확인시켜 준다. 그림 6 (b), (c)의 회절패턴은 서로 거의 일치하며 회절링으로부터 반지름을 측정 한 후 면간거리를 계산하여 구조분석을 수행한 결과 ZnS (Zinc blend, lattice parameter ; 5.4061 Å)의 회절링 패턴임을 확인할 수 있었다. 그림 6 (a)의 경우는 결정립의 성장에 의한 회절점 패턴

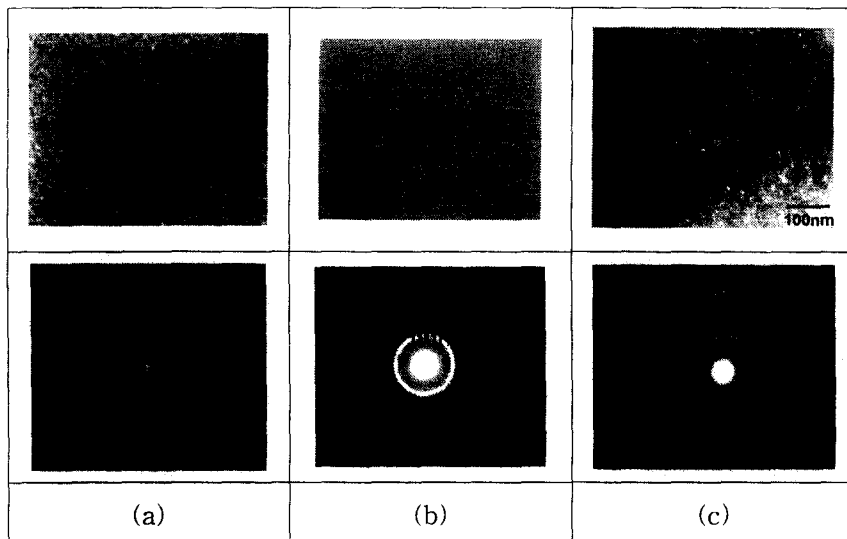


Fig. 6. TEM bright field images and diffraction patterns of Zn-SiO₂ Films.

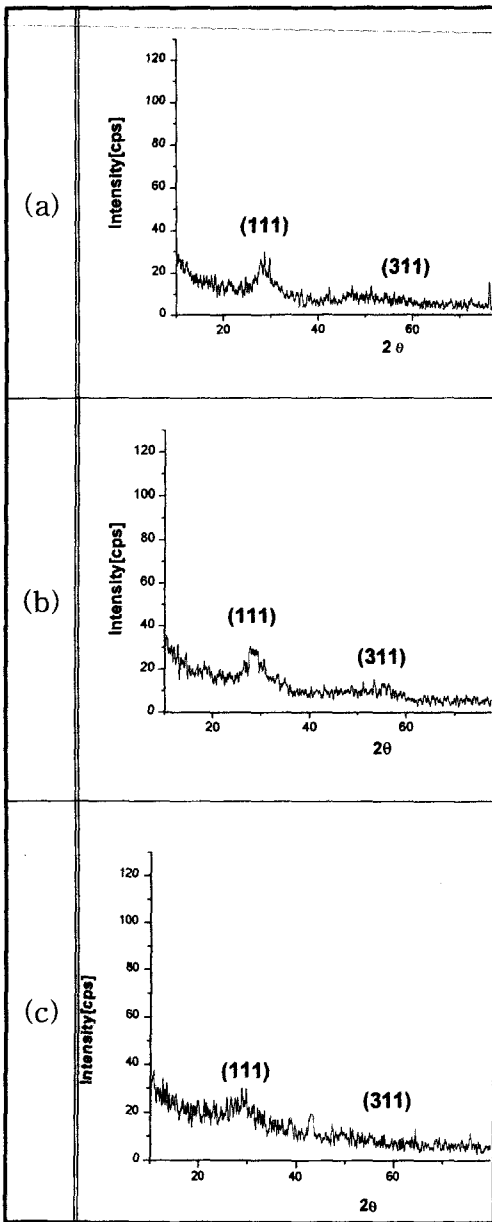


Fig. 7. XRD diffraction patterns vs. electrode distance.

(spotty pattern) 과 유사하게 나타난 것으로 생각되며 이것은 전극간의 거리가 멀어짐에 따라 증착속도의 감소로 상분리가 일어난 것으로 생각된다.

최적조건에서 증착된 시편의 열저항성 측정을 위하여 최적조건에서 시편을 700°C의 진공하에서 20분간 열처리를 실시하였다. 열처리후 ZnS와 SiO₂의 상분리 여부를 판단하기 위하여 XRD분석을 실시하였다. XRD분석 결과는 다음의 그림 8과 같다. XRD분석 결과, ZnS의 피크가 결정성을 가지고 성장을 하였으나 결정립 상태가 거의 비정질에 가까운 상태로 존재한다고 볼 수 있다. 결국 레이저빔에 의한 광디스크의 열응력에도 유전체 보호막은 수nm의 결정립 상태로 안정하게 존재한다고 생각된다. 그러므로 최적조건에서 시편은 내부응력이 작고 가열에 의하여도 변화가 어렵기 때문에 광 디스크의 기록/소거의 열적 부담에 대해서도 안정적인 것으로 평가된다.

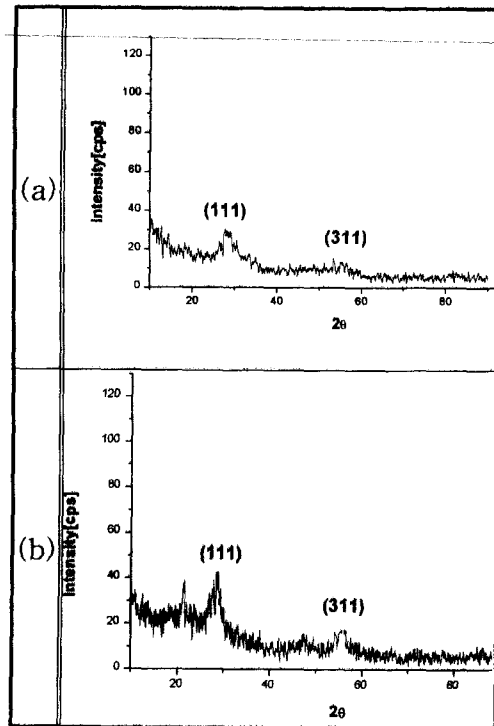


Fig. 8. XRD diffraction patterns.

4. 결 론

다구찌 실험계획법에 의한 실험과 이의 S/N비 분석을 통하여 우수한 품질특성치와 최소의 산포를 가지는 재현성이 확보된 다음과 같은 증착조건을 얻을 수 있었다. 타겟 R.F. power 200W, 기판 R.F. power 20W, 아르곤 가스압력 4mTorr, 전극거리 4cm이었다. 굴절율의 특성치에 영향을 미치는 주요한 인자로 전극간의 거리와 아르곤 가스압력의 교호작용이 판명되었다. 투과율의 특성치에 대해 전극거리가 매우 주요한 인자로 판명되었으며, 전극간의 거리가 가까워 질수록 박막 표면의 거칠기가 증가하여 전자의 산란으로 인한 흡수로 박막의 투과율에 나쁜 영향을 끼치는 것으로 나타났다.

AFM과 SEM 분석결과 전극간의 거리가 가까워지면 박막의 morphology에 나쁜 영향을 끼침을 알 수 있었다. ZnS-SiO₂ 박막의 증착속도는 타겟의 스퍼터링 출력이 증가함에 따라 증가하고 전극간의 거리가 가까워짐에 따라 증가하였다. X선회절 분석 결과, 최적조건에서 수nm의 작은 결정립도를 갖는, 비정질에 가까운 ZnS상과 SiO₂상이 혼합되어 있었다. 또한 그림 7에서 전극거리가 멀어지면 증착속도가 감소하여 상분리가 일어나 ZnS(111) peak가 크고 날카로와 짐을 관찰할 수 있었고 그림 6의 TEM에서 전극간의 거리가 멀어질수록 회절점 패턴(spotty pattern)이 나타나는 것으로 보아 전극간의 거리가 멀어질수록 결정성이 향상된다는 것을 관찰할 수 있었다. 투과전자현미경 분석 결과, 최적조건에서 수nm 크기의 미세하게 분산된 ZnS의 결정립이 명시야상에서 관찰되었다.

참고문헌

1. M. Elphick, "DVD Technology; The New Paradigm in Optical Storage", *Technology & Manufacturing of Storage Devices, Data Storage*, **4**[1] 25~32. (1997).
2. J. Feinleib, J. de Neufvill, S.C. Moss and S.R. Ovshinsky, "Rapid Reversible Light-Induced Crystallization of Amorphous semiconductors" *Appl. Phys. Letter*, **18**[6] 254~257 (1971).
3. Panasonic Technologies, Inc., "Technical Introduction of Phase Change Rewritable(PCR) Optical Disk Technology", April(1994).
4. I. Morimito, K. Furuya, K. Nishimura, M. Suzuki and M. Nakao, *SPIE Optical Data Storage*, 1663, 294 (1992).
5. N.Ohta, "Future Generation Magneto-Optical Media from a Manufacturing Point of View" *Jpn. Journal of Applied Phys.* **32**, 5185~5188 (1993).
6. Y. Maeda, H. Mineruma, M. Nagai, I. Ikuta, and H. Andoh, *Jpn. J. Appl. Phys.* **28**, 147 (1989).
7. Y. Watanabe, J. Tsuchiya, Y. Kobayashi, and T. Yoshitomi, *IEEE Trans. on Mag.* **Mag-23**, 2623 (1987).
8. 박성현, "응용실험계획법", 영지문화사, 175~195 (1990).
9. M. Takeo, K. Kimura, T. Kurumizawa, and K. Nagata, U. S. Patent No. 4847132 by Matshushita (1989).
10. Y. Maeda, H. Mineruma, M. Nagai, I. Ikuta, and H. Andoh, *Jpn. J. Appl. Phys.* **28**, 147 (1989).