

Bismuth 박막으로 된 추가기록형 디스크에 대한 광 기록특성

이종대[†] · 김창수 · 이동철*

충북대학교 공과대학 화학공학과
*(주)금성사 마그네테크 SBU 연구소
(1993년 8월 23일 접수, 1994년 3월 3일 채택)

Optical Recording Characteristics for Write Once Disc of Bi Thin Film

Jong Dae Lee[†], Chang Su Kim and Dong Chul Lee*

Dept. of Chem. Eng., College of Eng. Chungbuk National Univ.
*R & D Center Magnetech Div., GoldStar Co., Ltd.
(Received 23 August 1993; accepted 3 March 1994)

요 약

DC/RF 마그네트론 스퍼터링 장치와 반도체 레이저를 사용하여 Bi 박막의 성막특성과 광 기록특성을 조사하였다. Power 밀도, 스퍼터링 시간, 아르곤 가스 유량이 증가할수록, 폴리카보네이트 기판과 Bi 타겟간의 거리가 감소할수록 성막된 필름의 두께는 증가함을 알 수 있었다. 레이저로 기록하기 전에 1000-3500 Å의 필름 두께에 대하여 47%의 반사율이 얻어졌다. 또한 Red Book에 규정된 표준 피트 길이와 비교하여, 측정된 피트 길이는 다소 작은 것으로 나타났다.

Abstract—The deposition and optical recording characteristics of Bi thin film were investigated using the DC/RF magnetron sputtering unit and the semiconductor laser. It was found that the deposited film thickness increased with increasing power density, sputtering time, argon gas flow rate and decreasing distance between the polycarbonate substrate and Bi target. Before the laser marking, the reflectance of 47% was obtained for the film thickness ranging from 1000 to 3500 Å. Also, in comparison with the standard pit length defined by the Red Book, it was shown that the measured pit length was somewhat small.

1. 서 론

최근 사회가 고도화·정보화됨에 따라 정보가 고밀도화·대용량화 되어 가고, 기존의 자기 기록매체의 한계성으로 인하여, 이러한 정보를 기록·재생할 수 있는 새로운 기록매체의 필요성이 대두되게 되었다. 10^{-6} Torr 이하의 고진공에서 불순물 혼입이 작은 기록박막을 제작할 수 있는 진공증착 기술과 1 μm 이하의 직경을 갖는 반도체 레이저 가공기술의 발달로 광 기록매체의 개발에 대한 많은 연구가 이루어지고 있으며, 이와 같은

광 기록매체는 자기 기록매체와 비교하여 볼 때 기록 밀도가 높고, 정보 보존성이 좋으며, 내구성이 강하고, 그 용량 및 속도에 비해 bit당 가격이 저렴한 장점을 가지고 있어 대용량의 정보저장, 문서보관 및 검색, 이미지 화일의 저장 매체, 컴퓨터 보조 메모리 등등 그 응용성이 확대되고 있다.

광 기록매체는 정보의 기록 및 소거 가능성 여부에 따라 재생전용형, 추가기록형, 소거 및 재기록형 등으로 분류되며[1], 기록 및 재생방식에 있어서 레이저 광을 이용하여 물리적 구조변화(상변화, 자기적 성질변화, 광

색소 변화)를 유발하여 정보를 기록하고, 정보가 기록되어 있는 부분과 기록되지 않은 부분과의 높은 반사율 차이에 의하여 정보를 재생한다[2]. 최근 반도체 레이저의 고출력화 또는 집점(focusing) 제어, tracking 제어 등 광 빔 제어 기술이 진보하고, 높은 광 흡수율 및 저융점, 낮은 열전도도 등의 특성을 지닌 고감도로 안정한 기록재료에 대한 연구가 진행되면서, 소형 광학 헤드를 이용한 추가기록형 광 기록매체가 실용화 되어가고 있다[3]. 추가기록형 광 기록매체의 기록방식은 고출력의 레이저를 열원으로 사용하여 천공형성(ablative structure), 국부용기(vesicular structure), 상변화(phase change) 등의 비가역적 물리변화를 주어 정보를 기록하며[4], 재생시 이와 같은 물리적 변화가 영향을 받지 않을 정도의 저출력 레이저를 사용하여 반사율 차이에 의하여 정보를 재생한다.

금속 박막에 레이저 광을 조사하여 기록 피트(pit)를 형성하는 heat mode에 의한 기록 mechanism 및 기록 박막에 대한 연구는 1965년경부터 이루어져 왔다. 처음에는 Pb, Ta 등의 박막이 이용 가능한 것으로 알려졌다. 금속 박막에 레이저 빔을 조사하여 기록 피트를 형성하는 heat mode에 대한 연구가 Carlson[5]에 의하여 처음 시도되었다. 이후, Maydan[6]은 Bi 박막에서의 레이저 빔 조사에 따른 열전달 해석을 시도하여, 기록감도가 사용되는 기판재질에 의존됨을 밝혔으며, Terao 등[7]은 피트 형상의 개선을 목적으로 Te과 Se계 합금 박막에 광 기록을 행하여 규칙적인 형상의 기록 피트를 얻기 위한 조건으로서 용해상태에서의 점도가 높아야 할 필요성과 함께 Te 박막에 Se를 첨가함에 따라 기록박막의 내산화성이 향상됨을 지적하였다. Kivits 등[8]은 ablative형 Te, In 기록박막에서 hole 형성시 용융과정의 제한된 반응속도 때문에 기록층이 super heating 된다고 보고하였으며, Lou 등[9]은 Te를 함유하는 15종의 기록재료를 사용하여 Ar 레이저와 He-Ne 레이저의 파장대역에서의 기록감도 향상방안에 대한 연구를 행하여 임계온도라고 일컬어지는 재료의 비점에 관계하는 온도까지 상승되어 기록 피트가 형성되고 아울러 Te 박막이 가장 기록감도가 좋다고 보고하였다. 또한 기록 해상도의 향상을 위해서는 진공장치를 이용한 박막의 제작시 성막속도를 느리게 하여 Te 등의 금속 결정입자를 가능한 작게 하여 성막하는 방법이 유용하다고 지적하였다. Suh 등[10]은 Ge, Si 기록층에서 결 구조(textured structure)로 된 표면의 미시적이며 비가역적인 광학특성의 변화를 이용한 광 기록에서, 표면장력에 의한 기록물질의 미세한 유동만으로 기록을 할 수 있음을 제시하였다.

최근에는 레이저 빔 조사에 의한 염료물질의 광학적·

화학적 변화를 기록 및 재생 원리로 이용하는 dye-polymer형 기록매체[11]와 금속물질의 결정과 비결정간의 광 반사율의 차이를 기록 및 재생원리로 이용하는 phase change형 기록매체에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[12].

본 연구에서는 기존의 재생전용형과 호환성을 갖는 추가기록형 기록매체 제작시 필요한 자료를 제공하기 위하여, PC(polycarbonate) 기판과 Bi 기록막, UV-resin계 보호막의 3층 구조로 된 기록매체에 DC/RF magnetron sputtering에 의한 기록막 성막시 두께, 광학적 특성에 미치는 각종 sputtering parameter의 영향을 조사하였으며, 파장이 780 nm이고, 출력이 8 mW인 반도체 레이저를 사용하여 기록한 후 광 기록 및 재생특성을 고찰하였다.

2. 광 기록매체의 기록막 제작 및 재생원리

2-1. Sputter-Deposition에 의한 박막 제작

Sputtering 현상은 1853년에 Grove[13]가 발견한 현상으로서, 발견 당시에 이온에 의한 음극의 가열이라는 견해가 유력했으나, 이후 Granquist[14]는 sputtering율이 온도에 의존하지 않는다는 실험적 관측을, Goldstein[15]의 이온선의 실험에서 이온충격 효과가 확인됨으로써 단순한 가열설 보다는 열 spark설과 이온충돌설이 등장하게 되었다. 본격적으로 sputtering 현상에 대한 연구에 몰두한 Stark[16]는 열 spark설에 상당하는 미시적인 국부가열모델(hot spot model)과 원자간의 단층충돌모델의 양쪽 모두를 고려한 입장을 취하였으나, Wiener[17]의 단결정 sputtering 실험 이후, 열효과에 의한 sputtering 현상은 거의 받아들여지지 않고 있다. 현재, sputtering은 가속된 입자(주로 이온)를 고체 표면에 충돌시킬 때 고체의 원자 또는 분자에 운동에너지가 전이시켜 공간에 방출시키는 현상으로 원자의 방출에서 기판에의 부착에 이르는 박막제작과정을 포함한 개념으로서 사용되고 있다.

Fig. 1에서와 같이 진공조에 아르곤 가스와 같은 불활성 기체를 주입하고 Bi target을 음극으로 하고 기판을 양극으로 하여 직류를 통하면 음극에서 전자가 튀어나와 기체분자와 충돌하여 일부는 이온화 되고 대부분은 이온화 되지 못하고 여기된 상태에서 안정한 상태로 되돌아 가며 glow 방전을 하게 된다. 이와 같이 glow 방전에 의하여 만들어진 가속입자(sputtering ion)는 전기장속에서 음극쪽으로 가속되어 충돌하고 음극재료의 원자 및 전자를 방출시키고 이 전자가 다시 양극쪽으로 가속화되는 동안 새로운 이온화를 일으켜 진공조내의 plasma를 유지시킨다. 이 때 가스 분자, 원자, 전자 등의

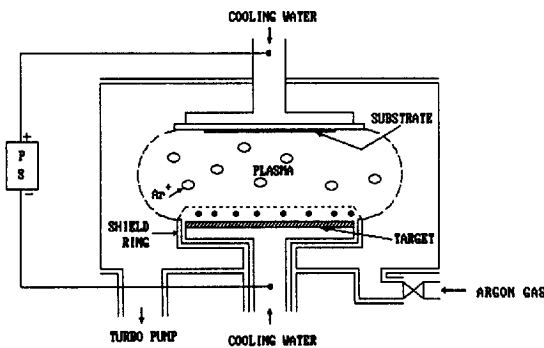


Fig. 1. Schematic diagram of sputtering process.

입자가 상호 충돌하는 평균자유행로(mean free path)가 작거나 자장을 걸어주어 나선운동을 하게 하면 충돌이 잘 일어나게 되어 글로 방전이 유지된다.

본 연구에서 사용된 DC/RF magnetron sputtering법은 종래 sputtering법의 결점으로 되어 왔던 박막 성장 속도가 느린 점 및 기판 표면온도의 증가 등을 개선한 방식으로 유력한 공업적 박막제작 방법의 하나이다. 이 방법은 3개의 영구자석을 target 밑에 부착하여 target 표면에 자장을 만들어 전자의 운동을 자장에 의해 target 부근에 집중시켜 sputter gas의 이온화 효율을 높이는 방식이다. 따라서 discharge impedance는 종래의 sputtering 보다 훨씬 낮아 저전압, 고전류에서 방전이 계속된다. 방전 gas를 target 부근에 집중시키고 또 전자의 나선운동에 의해 energy를 감소시켜 기판에 도달하는 전자의 수 및 energy 감소에 의해 기판온도의 증가를 방지할 수 있으므로 PMMA, PC 등 plastic 기판 사용이 가능하다는 점에서 광학 기억박막 제조용에 유리하나 target 표면의 전계와 자계가 직교하는 부분이 sputter 되기 쉬워 막조성 및 막두께의 균일성 및 재현성에 문제가 되고 target의 이용효율이 떨어지는 등의 결점이 있다. 이러한 결점을 개선하기 위하여 최근에는 자계의 모양을 변화시키기 위해 특수한 형태의 자석을 사용하거나 자석을 음극 내부에서 이동하는 등의 대책이 연구되고 있다.

2-2. 기록 및 재생원리

Pre-groove가 형성된 직경 12 cm, 두께 1.2 mm인 투명한 polycarbonate 기판위에 수백-수천 Å 두께의 금속 기록박막을 DC magnetron sputtering법으로 성막한 다음, 원심력을 이용한 spin-coater에서 10 μm 이하의 UV계 resin을 보호층으로 입히고, UV 경화장치를 사용하여 경화시킨다. 광 기록매체를 제작한 후 일정한 선속도 1.3 m/s로 회전하는 디스크의 기판쪽으로부터

출력 8 mW의 반도체 레이저로 조사하면 물질의 열적 특성(비열, 열전도도)과 광 흡수율에 따라 온도가 상승하고, 주로 기록층에서 기록 피트 형성이 가능해지는 임계온도 이상이 되었을 때 레이저 빔의 광 에너지에 의하여 비가역 물리적 변화가 일어나 기록 피트를 형성하고, 레이저 빔의 pulse duration이 지남에 따라 서서히 냉각되는 양상을 띠게 된다. 이 때 형성되는 기록 피트는 광 기록매체의 회전 선속도가 1.3 m/s인 경우 최소 0.902 μm(3T)에서 최대 3.309 μm(11T)까지 9종류이다.

추가기록형에서 높은 광 흡수율 및 저융점, 낮은 열전도도를 지닌 Bi, Te은 대표적인 ablative형으로 알려졌다. 공융점을 지닌 Rh과 Si은 두 층간의 합금에 기록되는 bilayer형, Ge 계열은 textured형, Au 미립자와 polymer 중합체는 island structure형, back pressure에 의하여 bubble 형태의 기록 pit를 형성하는 organic dye는 vesicular형, TeO₂ 계열의 금속산화물은 상전이형 기록방식으로 알려져 있으나[18] 이에 대한 명확한 규명이 이루어지지 않은 상태이다.

광 디스크의 회전수가 약 500 rpm(내주)에서 200 rpm(외주)까지 연속적으로 변화하는 CD-player에서 파장이 780 nm이고, 출력이 0.3 mW인 재생용 반도체 레이저로 광 픽업하면, 조사된 레이저 빔은 polarizing beam splitter, quarter wave plate, 대물렌즈를 통하여 광 디스크에 도달한다. 기록층에서 기록 피트가 형성되지 않은 land 부분에서는 레이저 빔이 대부분 반사하고, 기록 피트 부분에서는 레이저 빔이 회절, 산란 또는 투과하여 반사광량의 차이를 유발한다. 이와 같은 반사광량의 차이를 대물렌즈에서 받아 polarizing beam splitter를 통하여 focus servo 및 tracking servo 등의 photo detector에서 감지하고 이를 전기적 신호로 변환하여 기록된 정보를 재생한다.

3. 실험

3-1. Sputtering에 의한 박막 제작

본 연구에서 사용된 sputtering 장치는 Fig. 1에 나타난 것과 같이 target이 기판의 아래쪽에 위치하는 sputter-up 방식으로 각 투입전력을 독립적으로 조절할 수 있는 3 kW인 DC cathode 2개 및 2 kW인 RF cathode 1개가 설치되어 최대 3원 동시 sputtering까지 가능한 DVSE-43T DC/RF magnetron sputtering 장치를 사용하였다. 기판으로 직경이 12 cm인 polycarbonate를 사용하였고, Bi 성막두께를 측정하기 위하여, 초음파 세척기를 사용하여 tetra chloro ethylene, 증류수, 아세톤 등으로 세척한 slide glass를 methyl alcohol에 보관하였

Table 1. Sputtering conditions

Substrate	Polycarbonate ϕ 120 mm \times 1.2 mm t
Discharge condition	DC 2 Diode, 60-300 W
Ar pressure	3-8 mTorr
Background pressure	$<1 \times 10^{-6}$ Torr
Ar gas flow rate	25-65 cc/min
Substrate rotation	50 rpm
Target to substrate distance	3.5-7.5 cm
Target	Bi ϕ 4" \times 1/4" t
Deposition rate	10-30 Å/sec
Film thickness	500-3500 Å
Pre-sputtering time	20-60 min
Substrate condition	Room temperature, No bias

다가 IR lamp로 건조한 다음 PC 기판과 함께 장착하였다. Turbomolecular pump를 사용하여 진공조에 10^{-6} Torr대의 고진공을 도입한 다음 반응가스인 아르곤 가스를 주입하여 작업 진공도를 10^{-3} Torr대로 유지하고 전류를 걸어 plasma를 유기시킨 상태에서 성막실험을 수행하였다. 본 연구에서 제작한 기록박막에 대한 sputtering 조건들을 Table 1에 나타내었다.

일반적으로 Bi 박막의 성질은 박막의 가열 냉각특성, 광학적 특성 및 박막의 두께에 따른 열적 특성에 의해 매우 민감하게 변하는데, 이러한 박막의 열적·광학적 특성에 영향을 미치는 인자는 sputtering에 의한 박막의 제작시 도입되는 투입전력 밀도, 스퍼터링 시간, 아르곤 가스 유량 및 기판과 타겟간의 거리 등과 같은 sputtering 변수들이다. 따라서 본 실험에서는 이러한 sputtering 변수들중 하나만 변화시키고 나머지는 고정시킨 뒤 제작된 박막의 두께변화를 조사하였다. 또한 유성펜으로 slide glass에 선을 그어 기판에 장착한 다음 성막 실험 후 아세톤으로 유성펜을 제거하여 박막에 단차를 만들고 Taylor-Hobson Co.의 표면조도계(신뢰도 95%)를 사용하여 두께측정을 하였다.

3-2. 보호막 형성 및 반사율 측정

Bi 기록막의 산화 및 외부적인 영향으로 인한 degradation을 방지하기 위해 spin-coater를 사용하여 Bi 박막위에 6.5 ml의 UV-resin으로 보호막을 성형하였다. 보호막 성형후 출력 2 kW의 UV경화 장치에서 15초 정도 경화시킨 후, spin-coater에서 2시간 정도 방랭시켜 충분히 건조시켰다.

기록전 반사율을 측정하기 위하여 CD-player와 DS-8631/8621 Digital Storage Oscilloscope를 연결하여 Oscilloscope mode상의 sweep time(회전의 이동시간)

을 500 ms, input channel voltage sensitivity를 0.5 V로 설정하여 광 디스크의 기록전 반사율을 측정하였다. 이때 측정된 기록전 반사율 단위가 volt 단위이므로 이 측정치를 % 단위로 환산하였다.

3-3. 기록 및 재생특성 측정

CD-player, D-20 Digital Master Recorder, CD-encoder, DA-7000A, CD-writer, CD-7200A 및 Computer를 연결하여 source digital 신호를 CD방식에 맞는 신호로 부호화하여 광 기록매체에 기록을 실시하였다. 기록후 Oscilloscope를 연결하여 eye pattern을 조사하였으며, Olympus사의 광학현미경과 Hitachi사의 SEM으로 pit 형상을 관찰하였다. 또한 기록 pit의 크기분포와 기록 pit의 표준크기에 대한 시간축상의 오차인 jitter값을 Oscilloscope와 computer program을 작성하여 측정하였다.

4. 결과 및 고찰

4-1. 기록박막의 성막 특성

DC/RF magnetron sputtering 장치를 이용하여 Bi 박막 제작시, 박막의 특성에 영향을 미치는 인자로는 target 면적, erosion 분포, 전극간 거리, target의 투입 power의 종류와 크기, sputter gas 압력, 시간 등이 있다. 그러나 이들 모든 인자들은 서로 독립적인 것이 아니고 상호 연관되어 있어 그 개별적인 영향을 정량적으로 파악하기 힘들지만, 앞에서 언급했듯이 sputtering 변수 중 하나만 변화시키고, 나머지는 고정시킨 뒤 박막의 특성을 조사하였다. 본 연구에서는 기판의 회전속도를 50 rpm으로 고정시키고 실험을 수행하였다.

진공조에 도입되는 argon gas 유량을 70 cc/min, 전극간 거리를 3.5 cm, 진공조에 도입되는 power를 90 W로 고정시키고 sputtering 시간을 30초에서부터 2분까지 변화시켰을 때의 sputtering시간에 따른 Bi 기록박막의 성막특성을 Fig. 2에 도시하였다. Fig. 2는 sputtering 시간이 증가됨에 따라 기판에 성막되는 기록막의 두께가 선형적으로 증가되는 경향을 보이고 있고 성막 속도는 10 Å/s 임을 알 수 있었다.

Fig. 3은 진공조에 도입되는 argon gas 유량을 50 cc/min로 고정시키고, sputtering 시간을 90초로 고정시키고, 진공조에 도입되는 power를 각각 65 W와 230 W로 하여, 전극간 거리를 3.5 cm에서부터 7.5 cm까지 1 cm씩 변화시켰을 때의 전극간 거리에 따른 Bi 기록박막의 성막특성을 나타내었다. 그림에서 보여주듯이 전극간 거리가 가까울수록 성막속도는 증가되는 경향을 보였으며, 성막속도는 전극간의 거리보다는 도입되는 pow-

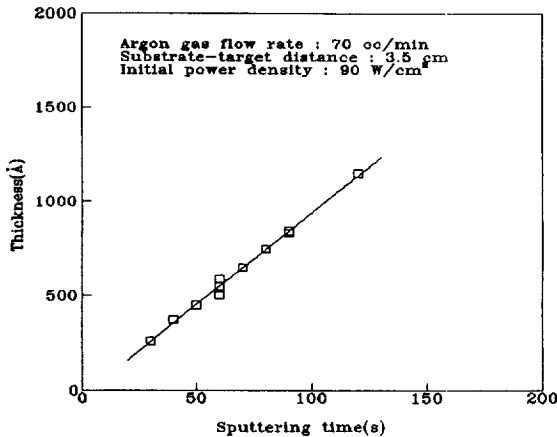


Fig. 2. Film thickness vs. sputtering time.

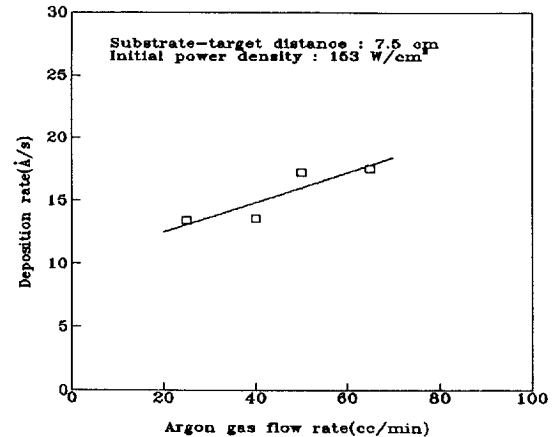


Fig. 4. Deposition rate vs. argon gas flow rate.

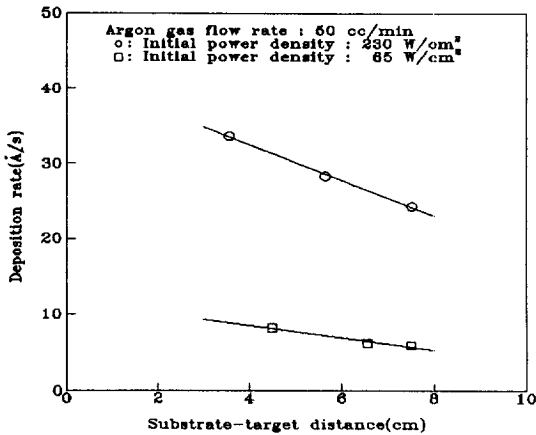


Fig. 3. Deposition rate vs. distance between substrate and target.

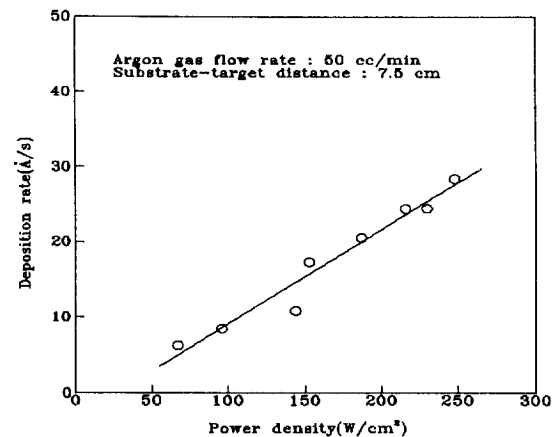


Fig. 5. Deposition rate vs. power density.

에 더 영향을 받을 수 있었다.

Fig. 4는 sputtering 시간을 90초, 전극간 거리를 7.5 cm, 진공조에 도입되는 power를 140 W로 고정시키고, 진공조에 도입되는 argon gas 유량을 25 cc/min에서부터 70 cc/min까지 변화시켰을 때, 진공조에 도입되는 argon gas의 유량이 증가됨에 따라 기판에 성막되는 Bi 기록박막의 성막속도가 증가되는 경향을 보였다. 이는 진공조에 도입되는 argon gas의 유량이 증가됨에 따라 sputtered target 원자들이 argon 중성원자 또는 ion들과 충돌할 기회가 커져 sputtering yield를 높이는 현상에 의한 것이라고 생각되어진다. 또한 magnetron sputtering인 경우 Ar 압력이 낮을 때 film morphology와 내산화성이 더 좋다는 보고가 있다[19].

Fig. 5는 진공조에 도입되는 argon gas 유량을 50 cc/min로 고정시키고, 전극간 거리를 7.5 cm로 하여, 진공

조에 도입되는 power density를 60 W/cm²에서부터 250 W/cm²까지 변화시켰을 때의 진공조에 도입되는 power 밀도에 따른 Bi 기록박막의 성막속도를 나타낸 것으로, 진공조에 도입되는 power 밀도가 높을수록 성막속도가 선형적으로 증가되는 경향을 보였다. 이러한 경향성은 Wasa 등[20]의 실험결과와도 일치하는 것으로서, 이는 진공조에 도입되는 power 밀도가 증가됨에 따라 target에서 bias되는 전압이 커져 target를 때리는 sputter gas ion의 수가 증가하며 argon ion의 energy도 증가하게 되어 나타나는 현상이라고 예측된다.

본 실험에서 sputtering시 sputter 입자와 argon gas 분자와의 충돌을 무시하고 진공증착법의 경우와 같이 target emission 분포가 cosine law를 따른다고 가정할 때 Fig. 6과 같은 환상 target를 사용한 기판상에서의 두께분포 및 target 중앙 직상에서의 두께는 다음과 같다 [21].

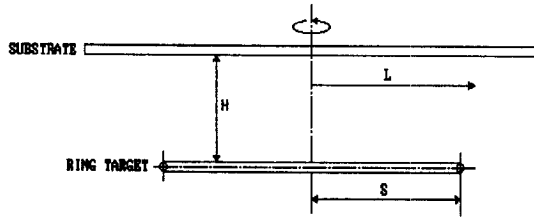


Fig. 6. Schematic diagram of ring target.

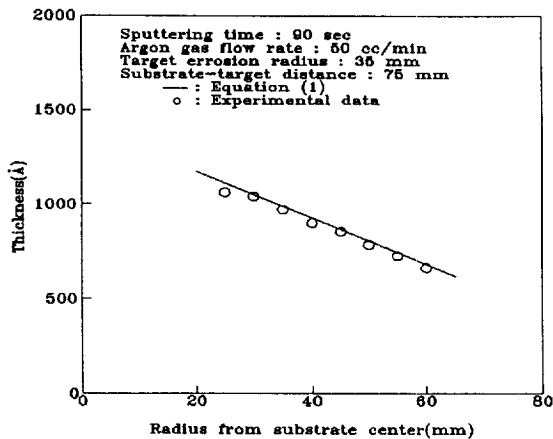


Fig. 7. Comparison between calculated and measured film thickness profiles.

$$d/d_0 = \frac{1 + (s/h)^2}{[1 - (l/h)^2 + (s/h)^2 + 4(l/h)^2]^{3/2}} \quad (1)$$

$$d_0 = K \frac{1}{h^2 [1 + (s/h)^2]^2} \quad (2)$$

여기서 K는 sputtering된 target 물질의 총 중량 및 비중과 관련된 상수이다.

Magnetron sputtering의 경우 cathode 내부의 자석의 영향 때문에 전계와 자계가 직교하는 target 중앙의 환상부에 방전이 집중되어 이 부분이 현저하게 sputter 된다. 따라서 본 실험을 환상 source로 가정하여 (1) 식을 적용시켜 보았다. 본 실험에서 사용된 sputtering 장치의 경우 sputtering 후 측정된 erosion 부분의 반경 $s=35$ mm와 전극간 거리 $h=75$ mm를 위식에 대입하여 l 에 대하여 이론치 d 값을 구하고, 실제로 실험하여 얻은 결과치 d 와 비교하여 도시하여 보면 Fig. 7과 같이 이론치와 실험치가 잘 일치함을 알 수 있었다.

4-2. 기록박막의 광학적 특성

직경이 12 cm인 polycarbonate 기판상의 Bi 기록박

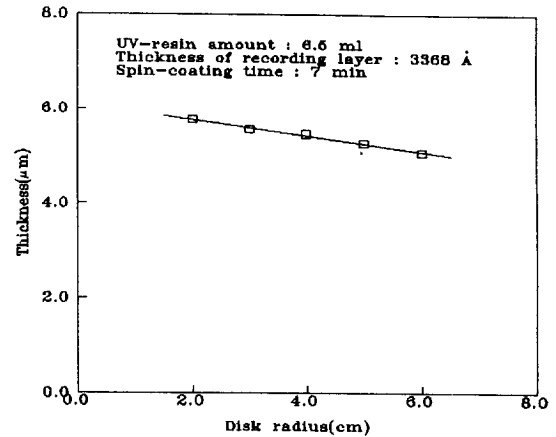


Fig. 8. Thickness profile of ultra-violet protection layer.

막위에 6.5 ml의 UV-resin을 원심력을 이용한 spin-coater로 도포하여 보호막을 성형할 때, 디스크의 반경방향에 따른 보호막의 두께분포를 측정된 결과를 Fig. 8에 도시하였다. 실험결과 측정된 보호막의 두께분포는 6 μm 미만으로 디스크의 반경이 증가됨에 따라 0.2 μm 정도로 보호막의 두께가 감소하는 경향을 보였는데, 이는 디스크 중심에서 반경이 2 cm인 지점으로부터 4 cm인 지점까지 UV-resin을 순간적으로 도포하여 spin-coating에 의한 보호막 성형을 행하였기 때문이라고 생각되어 진다. 보호막 성형과 관련하여 보호막의 두께분포 및 경화상태가 불량할 경우에 디스크 휨 등의 문제가 발생할 수 있으므로 정밀한 제어가 요구되어 진다.

Sputtering법에 의한 polycarbonate 기판상에 Bi 기록박막의 성막 및 spin-coater에 의한 보호막 성형이 완료된 직경 12 cm인 추가기록형 광 디스크의 기록전 반사율을 CD-player와 연결된 Digital Storage Oscilloscope에서 volt 단위로 측정된 다음, % 단위로 환산한 결과를 Fig. 9에 도시하였다. 그림에서 알 수 있듯이 sputtering된 Bi 기록박막의 두께가 1000-3500 Å 범위에서 기록전 반사율이 47% 정도로서, 성막되는 두께의 증가에 따른 반사율의 변화가 거의 없음을 알 수 있었다.

이 결과로부터 기록박막 제작시 요구되어 지는 광학적인 특성인 일정 반사율을 얻기 위한 최적의 두께분포를 알 수 있었다. 그러나 본 실험을 통하여 얻은 Bi 기록박막의 두께에 따른 기록전 반사율 측정치가 47% 정도로서, 추가기록형 광 디스크에서의 기록 및 재생 과정상 요구되어 지는 70% 이상의 기록전 반사율을 얻기 위해서는 기판 성형 방식 및 기록박막의 성막조건에 대한 세밀한 분석 및 광학적 특성 및 열적 특성을 고려한 광 디스크 구조 설계에 대한 연구가 진행되어야

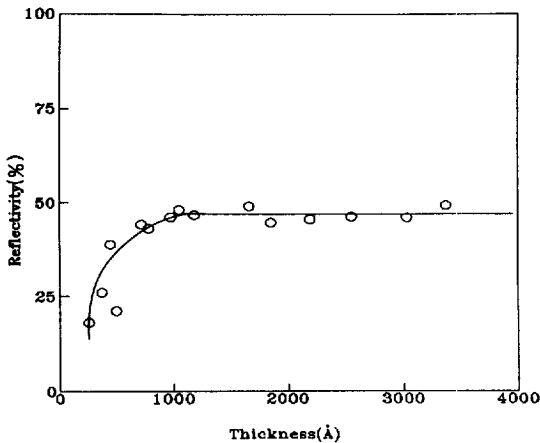


Fig. 9. Reflectance vs. film thickness.

할 것으로 생각되어 진다.

Fig. 10은 기록전 slide glass상에서의 Bi 기록박막의 표면을 관찰한 사진으로서, argon pressure가 4 mTorr 이고, 기판온도가 36°C 이며, Bi 기록박막의 두께는 2500 Å이다. 본 실험에서 관측되는 막의 형태는 증착원자와 기판과의 상호작용이 매우 강한 경우에 일어나는 단층상 핵생성(Stranski-Krastanov형) 모델[17]과 유사하다. 이들의 모델에 따르면 최초의 수층은 단층성장하고 그 위에 3차원핵생성이 성장하는 형으로 Cd/Ge, Ag/Si, Bi/Si, Ga/Si 등 극히 한정된 물질의 조합에 적합한 것으로 알려졌다. 대부분의 박막은 형성의 초기에는 섬(island)구조를 갖고, 증착을 계속하면 섬의 성장에 의해 먼저 섬과 섬의 합체(coalescence)를 일으킨다. 합체가 계속되면 박막전체에서 섬이 연결되어 소위 망목구조(network structure)가 되고, 이 망목사이의 공간이 점차로 채워져 가고 섬과 섬과의 사이 또는 망목의 사이에 또 작은 섬이 생길 수 있다. 이것을 2차입자생성(secondary nucleation)이라고 부르며, 본 연구의 결과에서도 이와 같은 구조를 하고 있음을 관측할 수 있었다.

4-3. Bi 박막의 기록특성

Fig. 11은 CD-recorder에서 조사되는 레이저 빔의 출력을 8 mW로 하여 10분 동안 광 기록을 행한 후 광학현미경의 배율을 500배로 하여 관측한 광 기록매체의 기록 pit 형상으로서, (a)는 Bi 기록박막의 두께가 3000 Å, (b)는 700 Å일 때의 기록 pit 형상이다. (a)에서는 Bi 기록박막에 형성된 기록 pit들의 형상이 규칙적이며, round 형태의 측구경기장과 같은 모양을 하고 있고 상호 중첩이 없음을 알 수 있으나, (b)에서는 Bi 기록박막의 성막두께가 얇아 반도체 레이저 빔 조사시 열전달이

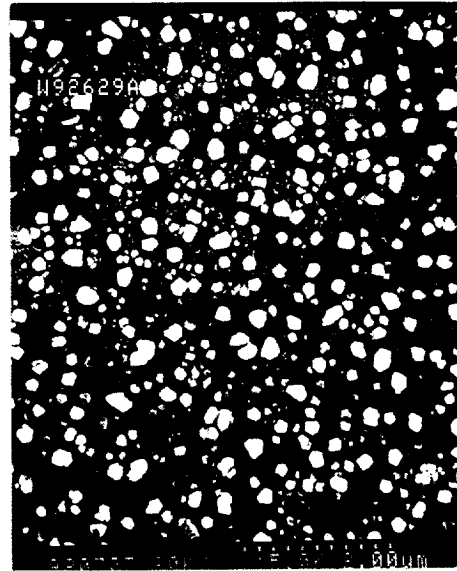


Fig. 10. SEM picture of Bi sputtered film surface.

급속히 진행되는 것으로 인하여 기록막의 온도가 상승되어 기록 피트간 중첩이 일어나고 부분적으로 burning 되는 경향이 나타나고 있음을 관측할 수 있었다. 이로 부터 박막두께에 따른 열적 특성을 고려하여 규칙적인 형상의 기록 pit를 얻기 위해서는 기록박막의 두께가 광 기록을 지탱할 수 있을 정도인 1000 Å 이상이 되어야 함을 알 수 있었다.

Fig. 12의 (a)는 sputtering시 도입되는 argon pressure를 3 mTorr대로 하여 700 Å 정도의 Bi 기록박막을 성막한 다음 CD-recorder에서 조사되는 레이저 빔의 출력을 8 mW로 하여 10분 동안 광 기록을 행한 후 전자현미경의 배율을 5000배로 하여 관측한 기록 pit 형상이다. 그림으로부터 다양한 크기의 기록 pit가 광 기록매체의 pre-groove부에 hole 모양으로 형성되어짐을 알 수 있었으며, 형성된 기록 pit가 선명하지 못하고 기록 pit간에 길이방향 및 측면방향으로의 상호 중첩이 심하게 발생되고 있음을 관측할 수 있었다. 이와 같은 현상은 앞에서 언급했듯이 과다한 열에너지 때문이며, pit의 중첩은 jitter값을 증가시키고 재생시 나쁜 영향을 끼친다. 같은 기록층 두께에 대해서 Fig. 12의 (b)에서와 같이 진공조에 도입되는 진공도가 1×10^{-5} Torr대의 저진공상태에서는 기록박막에 crack 등의 degradation이 발생됨을 관측할 수 있었으며, 이로부터 기록박막의 morphology를 좋게 하기 위해서는 10^{-6} Torr대 이하의 고진공 상태에서 기록막을 성막시킬 필요가 있음을 알 수 있었다.

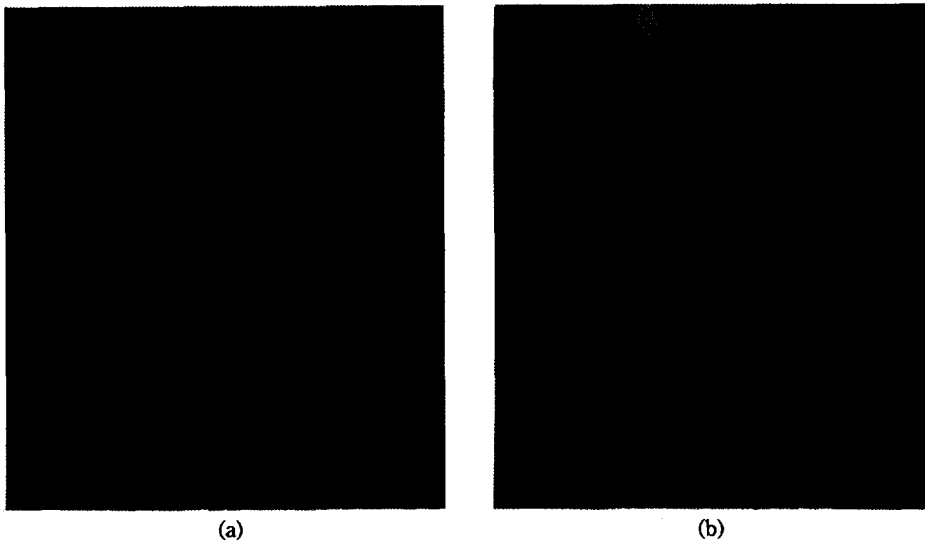


Fig. 11. Optical microscope pictures at Bi film of (a) 3000 Å thickness and (b) 700 Å thickness.

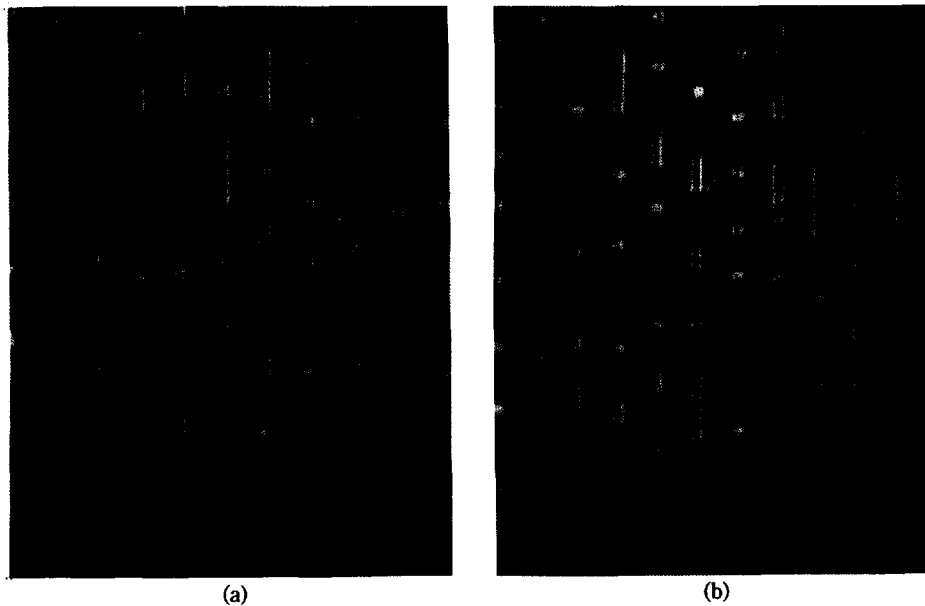


Fig. 12. SEM pictures of the written pits at (a) 2×10^{-6} Torr background pressure and (b) 1×10^{-5} Torr background pressure.

추가기록형 광 기록매체에 기록되는 EFM(Eighteen to Fourteen Modulation) 신호는 일종의 펄스 열로서, 기록 pit의 반사율 차이에 의해서 3-11T(T는 1채널비트주기로 약 230 ns)의 펄스 폭을 갖고, 이러한 9가지 pattern의 파형에 대한 시작점을 모아서 한곳에 겹쳐 놓으면 Fig. 13의 (a)와 같고, 그림중에 눈과 같은 부분이 생기는 것으로부터 eye-pattern이라고 부른다. (a)

는 Bi 기록박막의 eye-pattern 형상으로서 eye-pattern이 선명하지 못하고 흐려지는 경향이 나타나는데, 이러한 원인은 광 디스크가 기울어졌거나, 기록박막의 성막두께 편차로 인해 eye-pattern의 중심이 이동되는 것과 아울러 특히 펄스 폭이 작은 3T, 4T 신호들의 임펄스 응답의 끝부분이 넓어짐으로 인해서 파형의 높이가 줄어들어 기록 피트 상호간에 중첩이 발생됨에 따른 현

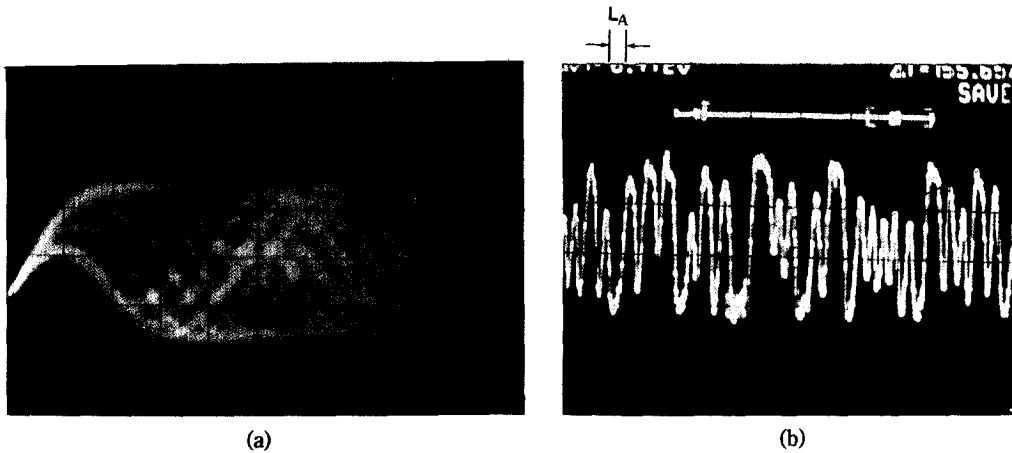


Fig. 13. Eye pattern of the readout signals (a) and analog signals (b).

Table 2. Length distribution of readout signals

Pit size	Standard pit length (μm)	Bi thin film (μm)	Dye-polymer thin film (μm)
3T	0.902	0.846	0.899
4T	1.203	1.193	1.165
5T	1.504	1.502	1.515
6T	1.805	1.799	1.806
7T	2.106	2.075	2.102
8T	2.406	2.398	2.415
9T	2.707	2.716	2.715
10T	3.008	2.983	3.014
11T	3.309	3.259	3.305

상으로 보여지며, 기록 피트의 변형, 잡음, 부호간 간섭, jitter 등에 의해 eye가 작아지는 경향이 나타나고 있다. (b)는 기록 피트의 analog 신호로서 파형의 최고점이 기록 피트가 없는 land 부분에서의 반사광량을 나타내고, 파형의 최저점이 기록 피트 부분에서의 반사광량을 나타내며, L_A 가 형성된 기록 피트의 analog 크기이다.

4-4. Bi 박막의 재생특성

추가기록형 광 기록매체에 대한 반도체 레이저 빔 조사에 의한 광 기록시 형성되는 정보원인 기록 피트의 크기 및 분포는 조사되는 레이저 빔의 power 및 기록 박막의 열적 특성에 의존되는 양상을 보이고 있다. 본 연구에서는 기록된 pit의 크기 및 jitter값을 CD-player와 Digital Storage Oscilloscope를 연결하여 computer 프로그램을 작성하여 측정하였다.

본 연구에서 사용된 광 기록매체에 대한 정보 access 방식은 CLV(Constant Linear Velocity) 방식으로 1.3

m/s로 광 기록매체를 회전시키면서 3-11T 크기의 source signal을 사용하여 기록을 행하여 최소 기록 pit 크기를 $0.902 \mu\text{m}$ (3T)로 하고 최대 기록 pit의 크기를 $3.309 \mu\text{m}$ (11T)가 되도록 하였다.

본 실험결과 관측되어 지는 Bi 기록박막에서의 기록 pit의 평균 길이는 standard pit 길이보다 다소 짧아지는 경향을 보이고 있다. Table 2에서는 회전 선속도가 1.3 m/s인 경우 Red Book에 규정된 pit 길이와 현재 dye-polymer 기록박막으로 상품화된 광 디스크 및 본 실험을 통하여 제작된 Bi 기록박막으로 된 광 디스크로부터 computer 프로그램에 의해 측정된 평균 pit 길이를 나타 내었다. Table 2에서 볼 수 있듯이 상품화된 dye-polymer 기록박막에서의 pit 길이와 본 연구에서 수행한 Bi 기록박막에서의 pit 길이는 표준 피트 길이보다 다소 작음을 알 수 있었고, Dye-polymer 기록박막의 pit 길이가 표준 pit 길이에 더 접근함을 알 수 있었다.

한편, 표준 pit의 1 채널피트주기는 약 230 ns에 해당되는데, 실제로 기록되는 pit의 주기는 채널피트주기보다 작거나 큰 분포를 가져 관측되어 지는 pit의 신호파형의 좌우가 흔들려 보이는 원인이 되며, 이와 같은 기록 pit의 시간지연에 대한 표준편차값을 jitter라고 정의한다. 광 기록매체에 기록되는 3T-11T 까지의 전 signal에 대한 평균 jitter값을 측정한 결과, Dye-polymer를 기록박막으로 사용하고 광 기록매체의 회전 선속도가 1.4 m/s인 CD-R 방식의 광 기록매체가 CD 호환성 추가기록매체의 규격집에 규정해 놓은 40 ns 이하인 23 ns로 나타났으며, 본 실험을 통하여 제작된 Bi 기록박막의 광 기록매체에서는 성막두께 편차 및 광 디스크의 skew 등으로 인한 기록 sensitivity 변동과 기록시 레이저 빔의 power 변동에 의한 pit-edge devia-

tion이 발생되어 70 ns의 jitter값을 보였다. Bi 기록박막의 경우, 특히 기록 pit 길이가 긴 영역에서는 기록 pit간의 상호 중첩에 의해 jitter값이 더욱 더 커지는 경향을 보였다. 이와 같은 pit간 상호 중첩됨을 개선하기 위해서는 pit edge 부분의 선명도를 증가시키기 위하여 Pb, Se, Te 등을 첨가하는 연구와 낮은 열전도도 및 비열에 관련된 물질에 대한 연구가 더 진행되어야 할 것으로 생각되어 진다.

5. 결 론

DC/RF 마그네트론 스퍼터링 장치와 반도체 레이저를 사용하여 Bi 기록박막으로 된 추가기록형 광 기록매체의 성막특성과 광 기록특성을 조사하였다. 진공조에 도입되는 power 밀도, 스퍼터링 시간, 아르곤 가스 유량이 증가할수록, 폴리카보네이트 기판과 Bi 타겟간의 거리가 감소할수록, 성막된 필름의 두께가 증가되는 경향을 보였으며, Bi 기록박막의 성막두께가 1000-3500 Å에서 47%의 기록 전 반사율을 얻을 수 있었다. 진공조에 도입되는 진공도가 10^{-6} Torr 이상의 고진공일수록, Bi 기록박막의 morphology가 향상됨을 관찰할 수 있었으며, 안정한 기록특성을 얻기 위해서는 Bi 기록박막의 두께가 1000 Å 이상이 되어야 함을 알 수 있었다. Bi 기록박막에서의 기록된 pit 길이는 규격의 pit 길이보다 다소 짧아지는 경향을 보였으며, 기록 pit간의 상호 중첩으로 인해 70 ns의 jitter값을 얻었다.

사용기호

d : deposition thickness on the substrate [Å]
 d_0 : deposition thickness from the substrate center [Å]
 K : constant correlated with total mass of sputtered target
 h : distance from the target center to the substrate center [mm]
 L_A : analog signal length of recording pit [μ m]

l : distance from the substrate center [mm]
 s : erosion radius of target [mm]

참고문헌

1. Marchant, A. B.: "Optical Recording", Addison-Wesley, Reading, Massachusetts(1990).
2. Wrobel, J.: *SPIE Proc.*, **420**, 288(1983).
3. Imanaka, Saimi, Okino, Tsuji and Masuda: *SPIE Proc.*, **529**, 116(1985).
4. Bartolini, R. A., Weakliem, H. A. and Williams, B. F.: *Opt. Eng.*, **15**, 99(1976).
5. Carlson, C. O., Stone, E., Bernstein, H. L., Tomita, W. K. and Myers, W. C.: *Science*, **154**, 1550(1966).
6. Sard, R. and Maydan, D.: *J. Appl. Phys.*, **42**, 5084(1971).
7. Terao, M., Shigematsu, K., Ojima, M., Tiniguchi, Y., Horigome, S. and Yonezawa, S.: *J. Appl. Phys.*, **50**, 6881(1979).
8. Kivits, P. and deBont, R.: *Appl. Phys.*, **24**, 307(1981).
9. Lou, D. Y., Blom, G. M. and Kenney, G. C.: *J. Vac. Sci. Technol.*, **18**, 78(1981).
10. Suh, S. Y.: *Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng.*, **382**, 196(1983).
11. Wrobel, J., Marchant, A. and Howe, D.: *Appl. Phys. Lett.*, **40**, 928(1982).
12. Ohta, T., Kotera, K., Kimura, K., Akahira, N. and Takenaga, M.: *SPIE Proc.*, **695**, 2(1986).
13. Grove, W. R.: *Phil. Mag.*, **5**, 203(1853).
14. Nakahara, S., Hong, M., van Dover, R. B., Gyorgy, E. M. and Bacon, D. D.: *J. Vac. Sci. Technol.*, **A4**(3), 543(1986).
15. Wasa, K. and Hayakawa, S.: *Thin Solid Films*, **52**, 31(1978).
16. Maissel, L. I. and Glang ed., R.: "Handbook of Thin Film Technology", McGraw-Hill, New York(1970).
17. 河津璋: 應用物理, **51**, 917(1972).