

상변화형 광디스크의 열화요인과 그 해결방안 Materials Degradation in Phase-Change Optical Disks and its Prevention

김용회*, 김명룡
LG 전자기술원, 137-140 서울특별시 서초구 우면동 16번지

Yong Hoe Kim* and Myong Ryeong Kim
LG Electronics Research Center
16 Woomyeon-Dong, Seocho-Gu, Seoul 137-140, Korea

1. 서론

오늘날 광디스크는 대용량이면서도 휴대성과 신뢰성이 높아 멀티미디어용으로 유망한 기록매체로 평가된다. 광디스크는 레이저 다이오드 광학계를 채용하여 매체와 헤드의 특성을 분리할 수 있다는 점이 휴대형 기록매체인 플로피디스크와 다른 점이다. 결정과 비정질간의 가역적변태를 이용해 정보를 기록하는 방식이 선보인 이래, 고출력이면서도 잡음이 적은 반도체 레이저의 개발과 결정화 속도가 큰 Ge-Te 이원계 및 Ge-Sb-Te로 대표되는 3원계 합금의 금속간화합물이 발견됨으로써 서환가능(rewritable)한 상변화형 광디스크의 실용화에 크게 이바지 하였다. 그러나, 상변화형 광디스크의 문제점 중의 하나는 정보의 기록과 소거과정이 반복됨에 따라 기록층 재료의 열화가 생긴다는 점이었다. 특히 고밀도기록을 하기위해 마크모서리(mark edge)기록방식을 채용할 경우, 기록층의 유동에 의한 열화가 큰 문제이다. 열화의 원인은 여러가지가 있지만 Ge-Sb-Te계에서는 상의 편석에 의한 것이 아니고 pinhole 형성에 의한 것으로 보고되었다.¹⁾ 현재 제품화 되고 있는 재료는 GeTe-Sb₂Te₃-Sb계이고, 본고에서는 이 문제에 초점을 맞추어 GeTe-Sb₂Te₃계 재료에서 열화의 원인과 대책을 소개하고 이에 관한 최근 연구결과를 요약검토하였다.

2. 열화모델

핀홀(pinhole) 생성에 의한 열화는 bit error rate (BER)에 직접적으로 영향을 미친다. Ohta등은 pinhole 형성 모델을 제안했으며,²⁾ 그 주요 내

용은 다음과 같다. 레이저 조사후 30ns가 경과했을 때의 온도 분포를 시뮬레이션해 얻은 각 층의 온도 분포를 Fig1에서 보여 준다. 기록층(active recording layer)은 유전체층(dielectric layer)에 대하여 열원의 역할을 한다. 그리고 기록막을 용해시킬 때 유전체층에 온도구배가 있어, 기록막에 접하는 부분이 반사층(reflection layer)에 접하는 부분보다 온도가 높다. 따라서 기록막이 접하는 부분의 열팽창이 더 크기 때문에 기록막을 누르는 힘(compressive force)이 발생하는 것으로 알려져 있다. Fig2는 기록막의 유동에 의한 두께변화와 핀홀의 생성과정을 보여준다. Fig2(b)는 열팽창된 상태로서 전체층은 열적으로 팽창하고 기록막은 녹아 유동이 일어난다. 그 다음에 다시 응고단계에서 고화될 때 막두께가 불균일해지고 핀홀이 생성된다. 기록막 상하의 적층은 비대칭인데다가 금속반사층

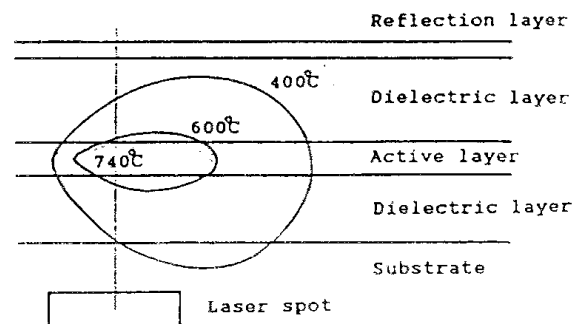


Fig 1. Temperature distribution in the layers by simulation.²⁾ (Cross sectional view)

Active layer thickness : 80nm
Linear velocity : 6m/sec
Laser power : 13mW/6mW

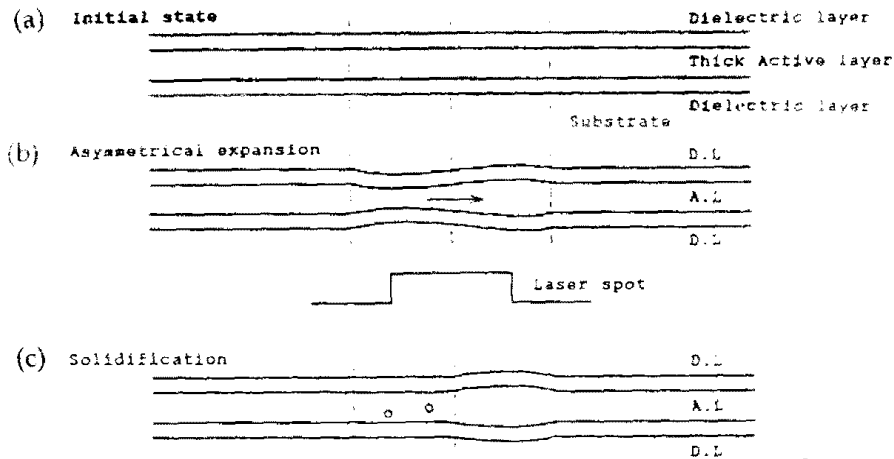


Fig 2. Rough sketch of the mechanism of the pinhole generation in the active layer. (Cross sectional view)

- (a) Initial disk structure²⁾
- (b) Asymmetrical space deformation by laser irradiation
- (c) Solidified state

으로의 열흐름(heat flow)이 크기때문에 실제 변형도 비대칭이 된다. 또한 기판표면의 온도상승은 하부유전체층의 온도상승보다 작고 열팽창계수는 커서, 기판표면이 부풀어 오르는 효과(swelling)를 더하면 변형은 복잡해진다. 광스팟의 진행방향의 전방과 후방의 온도분포 및 열팽창도 비대칭이 되기 때문에 용해시 기록막은 빔의 전후방에서 동시에 압력을 받는다. 전방이나 후방 어느쪽으로 압력을 받느냐 하는 문제는 각 층의 열전도율과 비열, 열팽창계수, 광스팟의 진행속도(즉, 디스크상의 선속도)에 의해 결정된다.

3. 열화의 해결방안

디스크 열화는 유전체층(dielectric layer)의 열팽창이 주요원인이며 유전체층의 열팽창을 감소시키는 방법으로는 현재로서 두 가지가 제안되어 왔다. 하나는 기록층이 유전체층에 대하여 열원의 역할을 하기때문에 기록층의 열용량을 감소시키는 방법이고, 다른 하나는 열팽창하는 유전체층의 부피를 감소시키기 위해 두께를 감소시키는 방법이다. 따라서 기록층의 두께를 20nm 이하로 함으로써 기록층의 열용량이 감소하여 유전체층의 열팽창이 작게된다. 또한 ZnS-SiO₂는 비정질구조로서 내부응력이 작고 열팽창이 작아(SiO₂의 열팽창계수: $5.4 \times 10^{-7}/K$ 이고 ZnS의 열팽창계수: $7.5 \times 10^{-6}/K$) 가열에 의해서도 변화하지 않기 때문에 유전체층 재료로 사용하면 열화가 방지된다. Fig 3에 현재 제품화되고 있는 상변화형 광디스크의 일반

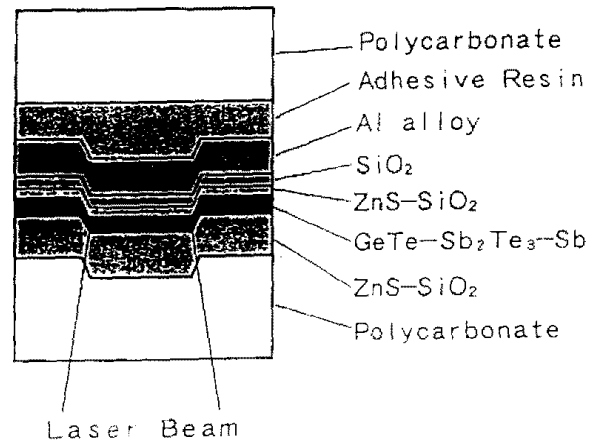


Fig 3. The cross-sectional view of advanced phase change disk media having the dielectric layer combination of ZnS-SiO₂ mixture and SiO₂ layers

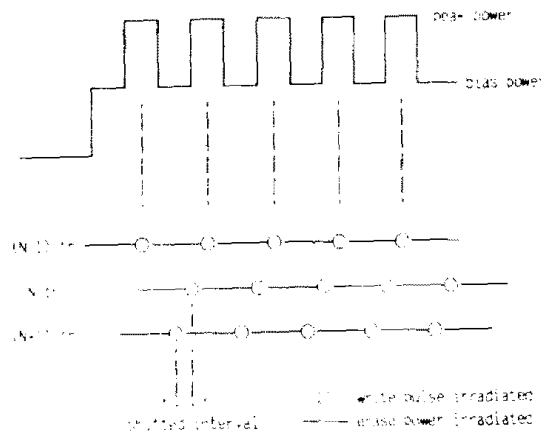


Fig 4. Schematic diagram of improved writing method (mark position shift). The shifted distance is set multiple of $T/2$ every time new data is overwritten. ($T=180nsec$)

적인 구조를 나타내었다. 위에서 언급한 방법 외에도 열화를 방지하는 방법으로는 여러가지가 제안되었으며, 아래에 대표적인 몇가지를 review하고자 한다.

3.1 마크위치의 이동방법

데이터부에 기록하는 정보는 같은 장소에 기록점이 형성되는 경우도 있기 때문에 기록점이 주변보다 얇아져 반사율이 저하되는 문제점이 있다. 이에 대해서는, Fig.4 에서와 같이 기록개시 위치를 임의로 하여 약간씩 겹치지 않도록 비켜 놓는 것이 효과적이다

3.2 N₂ 첨가⁴⁾

기록막을 Ar 과 N₂의 혼합가스 중에서 스퍼터링에 의해 성막시키면 최적기록파워+15%에서 반복기록해도 특성의 열화가 현저하지 않고, Ar 가스만으로 스퍼터한 경우와 비교해서 높은 파워에 대해서 견디는 능력이 향상되는 것으로 알려져 있다. 다만 재생신호의 변조도가 저하되는 문제점이 있다.

3.3 하부유전체층 재료의 열팽창계수차

하부유전체층 재료로서 열팽창계수가 낮은 SiO₂을 이용하면 ZnS 층의 경우와 비해 유동 발생이 어렵다는 것이 보고되었다. 하부유전체층을 SiO₂ 상부유전체층을 ZnS-SiO₂ 반사층을 Al-합금으로 사용한 디스크는 백만(10⁶)회 반복기록해도 기록막의 유동에 의한 국지적 반사율의 변화는 없는 것으로 알려져 있다. 이때 유동이 억제되는 이유는 보호막 상하면의 온도가 달라지는 것에 의해 바이메탈과 같이 연성이 큰 쪽이 팽창되어 기록막의 압출을 방지하는 효과가 있기 때문인 것으로 생각된다.

3.4 반사층의 두께조절

기록막과 상부유전체층의 두께가 30nm 정도로 얇고 Al을 반사층으로 이용한 금냉구조의 디스크에서 반사층의 두께를 증가시키면, 유동은 Al-반사층이 없거나 얇을 때에는 전방에서 발생된다. 기록영역의 VFO 부분에서 특히 막두께가 얇게되어 재생파형의 찌그러짐이 생기고 막두께를 150nm 이상으로 하면 반대로 유동한다. Fig.5 에서 보는 바와 같이, 유동에 의해서 막두께의 불균일에 기인된 재생신호 펄스의 지터값은 막두께가 증가할수록 감소한다. 후방유동으로 인해 기록영역의 종단부근에서 막두께가 감소하고, 그로 인한 재생신호의 찌그러짐은 막두께가 약 150nm 일때 현저하게

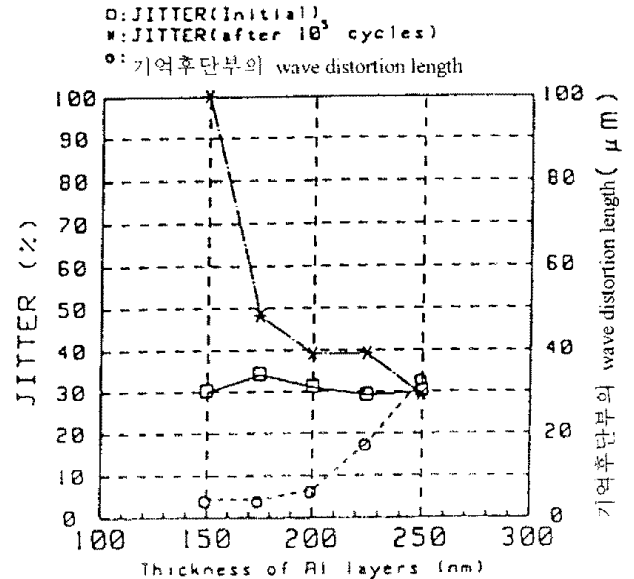


Fig 5. The variation of jitter and wave distortion length as a function the of Al reflection layer thickness and the overwrite cycles.

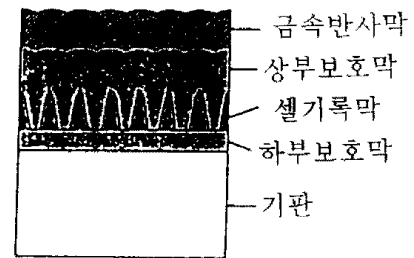


Fig 6. The cross-sectional view of a microcell in the phase-change optical disk

나타낸다. 따라서, 반사층의 최적 막두께는 약 150nm 인 것으로 생각된다.

3.5 마이크로셀화⁶⁾

이 방법은 Fig.6 에서 보는 바와 같이, 기록막을 미소영역으로 분리시켜 보호막으로 감싸서 기록막의 유동을 완전히 저지한다. 하부유전체층위에 기록막을 목표두께의 약 2 배인 600 Å의 두께로 스퍼터에 의해 막을 입히고, 그 위에 마스크로 Ti 막을 약 150 Å 두께로 입힌 후 전압의 극성을 바꾸어 스퍼터에칭시키면 막의 결정입계에서 먼저 에칭되어 Ti-막이 없어지면서 아래 기록막도 에칭된다. 부분적으로 하부유전체층이 노출되는 곳까지 에칭을 계속하면 기록막은 삼각추 모양으로 분리되어 삼각추의 정상과 정상과의 간격은 약 400 Å 이 된다. 그 다음에 그 위에 상부유전체층으로 기록막을 완전히 감싸고 다시 Al 합금으로 반사층을 입힌다. 이러한 방법으로 제작한 마이크로셀은 덮어쓰기가 가능하고 소저비는 약 23dB 이고 잡음은

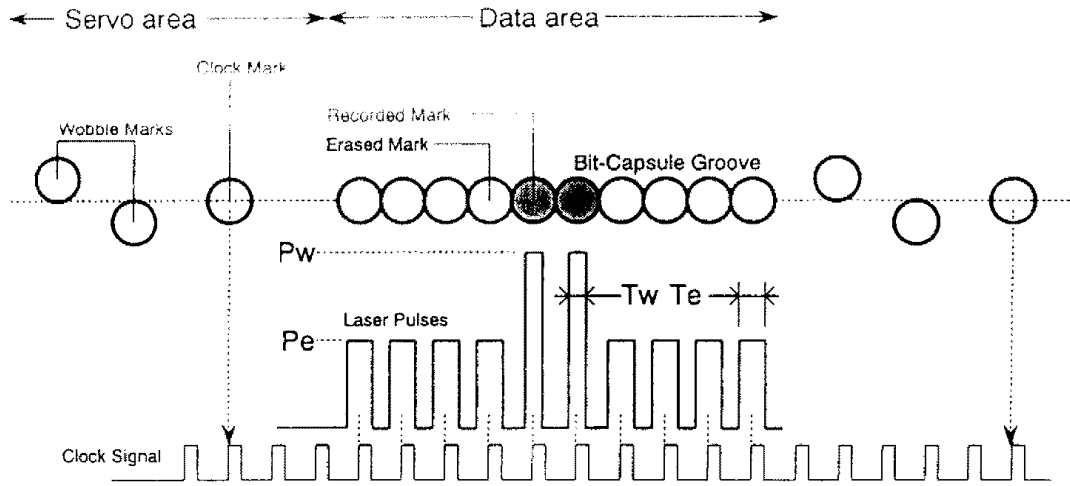


Fig 7. The bit-capsule format is based on a sample-servo format. Each bit capsule, allocated for a bit of information, is formed as an indent pre-pit like clock marks and wobble marks. In both write and erase procedure, pulse modulated laser beam is irradiated on phase change material in a bit-capsule.⁷⁾

보통 디스크보다 약 15dB 높으나 반복기록 가능회수의 향상은 확인되지 않고 있다. 그러나 결정립 크기의 차이로 인한 소거흔적 또는 변형에 의한 소거흔적이 억제되어 높은 소거비를 얻을 수 있는 가능성때문에 금후의 연구개발이 기대된다.

3.6 비트 캡슐법⁷⁾

데이터 기록영역의 기판표면에 미리 고밀도의 비트를 형성시켜 놓고 비트의 위치에 레이저광을 조사시켜 기록을 행한다. 이 때 기판표면에서 비트의 형성은 번지정보와 클락(clock)신호를 나타내는 비트를 기판표면에 형성시키는 것과 같은 방법으로, 사출성형시 니켈금형에서 얻는 방법이다. 비트의 위치에 기록을 하는 것은 통상의 디스크에서 클락 신호를 얻을 수 있는 샘플서보 방식이 유리하다. 샘플서보방식의 경우, 덮어쓰기 원리를 Fig.7에 나타내었다. 비트는 대개 연속됨에 따라 고밀도를 형성하기 때문에 Fig.8과 Fig.9에서 보는 바와 같이 기록점이 없는 부분의 재생신호는 각 비트에 의한 반사율의 변화는 보이지 않고, 비트의 열(row)에 의한 트래킹용 그루브(groove)와 광의 회절에 의한 반사율의 변화가 보일 뿐이다. 각 비트 주변의 경사부에서는 비트의 내부에서 외부로 용해영역이 확대되는 것을 방지하는 효과와 용동을 방지하는 기능이 있다. 따라서 기판표면에 비트의 크기가 제한되고, 작은 크기로 안정된 기록점의 형성이 가능하다. 기록과 소거에 필요한

파워마진이 증대하는 동시에 반복기록회수도 증가할 것으로 기대된다.

3.7 고용점 성분 첨가법

마이트로셀화를 통한 열화의 방지는 디스크 제작시 하나의 공정이 증가한다는 것과 셀과 유전체층 사이의 계면에서 광산란에 따른 잡음의 억제가 쉽지 않다는 단점이 있어 아래의 방법이 제안되었다. 즉, 기록막에 광학정수가 거의 동일한 고용점 성분을 첨가하여 기록시 고용점 성분이 석출되도록 하는 것에 따라 기록막의 용동을 억제하고자 하는 방법이다. 광학정수가 상변화 성분에 근접함으로써 계면에서의 광산란에 따른 노이즈의 상승이 일어나기 어렵다. 고용점 성분으로는 기록시에 기록막의 상변화 성분(Ge-Sb-Te)이 용해되어도 고용점 성분은 용해되지 않는 높은 용점을 가진 재료를 선택한다. 고용점성분의 한 예로는 Cr_2Te_3 가 있는데 Cr_2Te_3 는 1270 K 이상의 용점을 가지고 있으며, 굴절율과 소광계수(extinction coefficient)가 표1에서 보인 것처럼 기록막의 상변화 성분인 Ge-Sb-Te에 가깝다. 기록시 용점이상으로 온도가 상승하면 고용점 성분인 Cr-Te이 기록막내에 석출되어 보호막의 열팽창에 따른 변형에 의해 기록막이 눌러질 때 이것을 막아내는 역할을 하는 것으로 생각된다.

이상에서 디스크의 열화를 막는 방법에 대해 간략히 소개하였다. 그러나 위에서 언급한 방법의

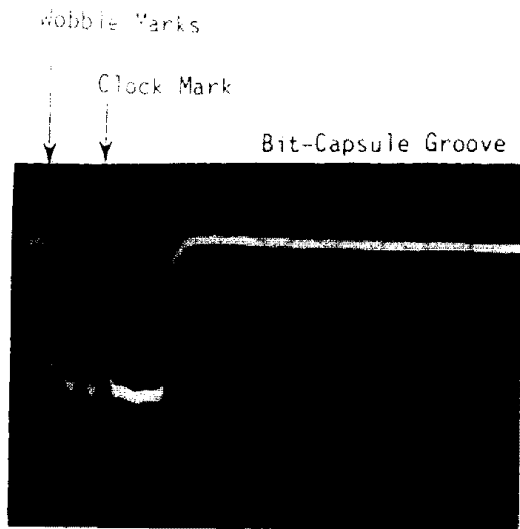


Fig 9. Read-out signals from a recorded track. Pattern signals "--01100010100--" appear on a bit-capsule groove.

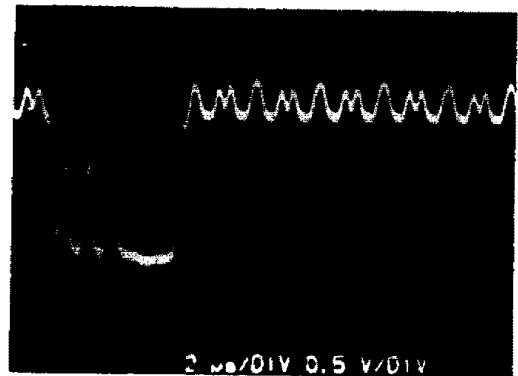


Fig 8. Read-out signals from an empty track. Bit-capsules are not observed individually but observed as a continuous groove.

표1. 상변화 성분과 고용점 성분의 광학정수

재료	굴절율	소광계수
Ge ₂ Sb ₂ Te ₅	4.5	1.1
Cr ₂ Te ₃	4.1	1.6

에도 반사층을 2층화(폴리카보네이트 기판/하부유전체층/기록막/상부유전체층/Si반사층/Al합금반사층)하는 방법 등이 있는 것으로 보고되었다.

4. 맺음말

Ge-Sb-Te 계 상변화형 광디스크 재료의 열화는 기록막을 용해시킬 때, 유전체층에 온도구배가 있어 기록막에 접하는 부분이 반사층에 접하는 부분보다 고온이 되어 기록막을 압박함으로써 기록막의 유동이 생기고, 그 결과 두께가 변함은 물론 핀홀이 생성되는 것으로 요약된다. 이같은 디스크의 열화는 유전체층의 열팽창이 주요원인이며, 열팽창을 감소시키는 방법으로는 기록층이 유전체층에 대하여 열원의 역할을 하기때문에 기록층의 열용량을 줄이는 접근방식과 열팽창하는 유전체층의 부피를 감소시키기 위해 두께를 줄이는 것이 제안되었다. 이 외에도 열화를 방지하는 방법으로는 본문에서 언급했듯이 여러가지가 있다. 결국, 기록 미디어의 고밀도화를 위해서는 마크모서리 기록방식이 필수적이고 이를 위해서는 기록막의 유동에 의한 열화방지 기술에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

5. 참고문헌

- 1) M.Chen, et al.: "Reversibility and Stability of Tellurium Alloys for Optical Data Storage Application", Appl. Physics Lett., 46(8), p.15(1985).
- 2) Takeo OHTA, et al.: "Million Cycle Overwritable Phase Change Optical Disk Model", Proc.SPIE. vol 1078, p 27~34 (1989)
- 3) Masaru Suzuki, et al., "Disk Structure and Writing Method for High Performance Phase Change Erasable Optical Disk", Proc.SPIE. vol1316, p 374~381 (1990)
- 4) 吉岡一巳, et al., "Overwrite 相變化光 disk, 特性" 第 51 回 應用物理學會 報告集, 3, 28p-ZB-8 (1990 秋) 970.
- 5) 鈴木 勝, et al., "繰り返しにおける物質移動現象とその mechanism" 第 2 回相變化記録 研究會 講演 集, (1991) 8.
- 6) 寺尾元康, et al., "相變化 光디스크의 高性能化" 第 2 回相變化記録研究會 Symp. 論文集 (1991) 10
- 7) Hiromichi Ishibishi, et al., "Study of PCE Sample-servo Optical Disk with Bit-Capsule Groove, Digest of Post Deadline Papers for SPIE Topical Meeting on Optical Mass Data Storage, Colorado, USA (1992)