

초소형 디스크 요소기술

Technologies for Small Form Factor Optical Disks

김진홍†

Jin-Hong Kim†

Abstract

Small form factor optical disks for near-field optics using solid immersion lens were developed. Diamond like carbon film and lubricant film were coated on the small form factor optical disk to enhance the head-disk interface (HDI) characteristics. The disk durability properties in terms of HDI phenomena were investigated by drag test. Disks with glass substrates and the lubricant films experienced heat treatment showed more durable characteristics. Coverlayers made of UV resin were uniformly coated by spin coating in which the ski-jump could be removed by adopting outer ring technique

Key Words : 초소형 디스크, 커버층, HDI, Ski-jump

1. 서 론

디지털 정보의 저장 및 재생을 목적으로 하는 광 Storage 기술은 오디오용인 CD 에서 시작되어 오디오/비디오 겸용인 DVD 를 거쳐 현재는 HD 급의 Blu-ray Disc 혹은 HD-DVD 까지 상업화에 이르고 있다.

광디스크의 지속적인 발전 방향은 기록밀도를 높여 광디스크의 용량을 늘리는 것이 한 방향이었다. 이 발전과정의 기록용량은 적외선 레이저를 사용한 CD 의 경우가 디스크 한 장당 640 MB, 적색 레이저를 사용한 DVD 경우는 4.7 GB 이고, 청색레이저를 사용하는 Blu-ray Disc 와 HD-DVD 가 각각 25 GB 와 15~20 GB 이다. 최근 들어 휴대폰, PDA 및 게임기 등의 이동형 기기들이 발전과 더불어 초소형 저장매체 들도 발전하기 시작하였다. 따라서 이러한 휴대형 기기들에 적용하기 위한 소형화 기술이 광 Storage 기술발전의 또 다른 한 방향으로 볼 수 있다. 특히, 이 영역에는 플래쉬메모리를 비롯하여 소형

하드디스크 등이 경쟁하면서 휴대형 기기를 공략하고 있다.

광디스크 기술의 최대 강점은 내장된 드라이브를 이용하고 디스크 매체만의 교체가 가능하다는 점 일 것이다. 이 점은 광디스크가 하드디스크와는 근본적으로 다를 뿐 아니라 플래쉬메모리와도 가격 경쟁력에서 월등한 우위를 점할 수 있는 근본이라고 볼 수 있다.

한편, 광디스크의 기록밀도를 향상시키기 위해 가장 가능성 있는 방법 중 하나가 바로 Solid Immersion Lens (SIL) 에 의한 근접장을 이용하는 것이라 볼 수 있다. 또한, 이 기술이 접목된 초소형 디스크라면, 광 Storage 기술 발전의 핵심 요소들을 다 갖추었다고 할 수 있을 것이다. 본 논문에서는 근접장을 이용한 초소형 광디스크 개발에 필요한 요소기술을 중심으로 논의 하겠다.

2. 초소형 광디스크 요소기술

2.1 초소형 디스크용 근접장 광학계

광기록에서 집속된 광의 직경을 D 라 한다면, $D = \lambda/NA$ 로 표현된다. 여기서 λ 는 레이저 파장, NA (Numerical Aperture) 는 광학계의 개구수 이다. 기록밀도를 높일 수 있는 기본적인 원리는 집속된 레이저 광의 직경을 줄여주면 되는데, D 를 줄여 기록밀도를 늘이기 위한 기본적인 접근 방법으로 는 레이저의 파장을 줄이는 방법과 광학

† LG 전자기술원

E-mail : jinhkim@lge.com

TEL : (02)526-4574

논문접수일 (2005 년 10 월 4 일)

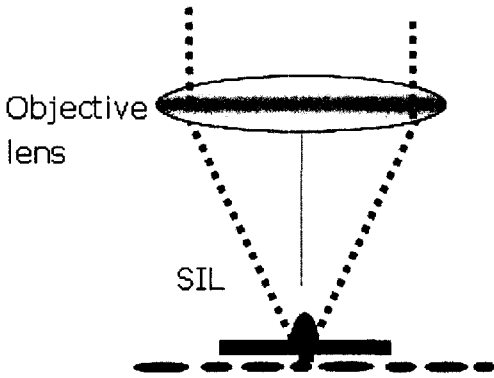


Fig. 1 Near-field optics system with solid immersion lens

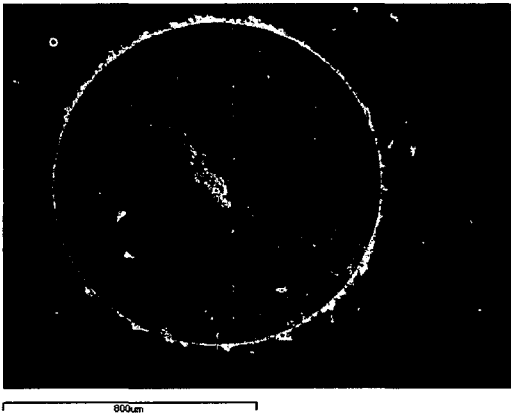


Fig. 2 Contaminated solid immersion lens

계 NA 를 크게 하는 방법이 있다. 기록밀도를 증가시키기 위한 이러한 방법들은 기존의 광디스크 뿐 아니라 고용량을 위한 초소형 광디스크에도 같이 적용된다.

가시광선에서 최소 파장인 청색레이저를 이용하여 파장을 최소화 하는 경우, 광학계의 NA 를 크게하는 방법으로는 Figure 1 과 같이 SIL 을 이용하여 렌즈와 디스크 면을 가능한 한 가까이 접근시켜 근접장 (Near-Field) 을 이용하는 방법이 실질적인 방법이다.[1] SIL 의 굴절률이 n 일 때 렌즈 표면에 초점을 형성시키면, 집속된 레이저 광의 직경은 공기중의 직경에 비해 $1/n$ 배가 된다. 이때 렌즈와 디스크면의 거리를 빛의 파장보다 가깝게 유지시켜 주게 되면 SIL 에 맺힌 초점이 디스크면에 커플링되어 실질적인 레이저 광의 크기를 줄여주는 효과가 있게 된다. 만약 SIL 과 디스크면 간의 거리가 파장의 크기 이상이 되면, 디스크 상의 초점은 앞의 경우에 비해 커지게 된다. 이러한 현상이 바로 근접장인데, 흔히

Evanescent 파라고 하며 프리즘에서 빛이 전반사될 때 일어나는 현상과 같은 상황을 일컫는다.

하드디스크와 같이 렌즈와 광디스크 면간의 거리를 일정하게 유지시켜주기 위해 Flying 헤드를 사용하는 경우, 광학헤드와 광디스크면 간의 거리를 조절 및 유지하기 위한 몇 가지 조건이 필요하다. 먼저, 디스크 면이 충분히 평편해야 하고 광학헤드가 따라 움직일 수 있도록 광디스크의 진동이 적어야 한다. 그리고 광학헤드와 광디스크면 간의 충돌이 가급적 없어야겠지만, 만일의 경우 충돌이 일어나더라도 데이터의 손실이 일어나지 않아야 한다. 즉, Head-Disk Interface (HDI) 의 기계적인 문제가 중요해 진다. HDI 의 기계적 문제와 더불어 SIL 과 디스크간에 일어나는 열적인 문제도 풀어야 할 중요한 문제 중 하나이다. 즉, SIL 바닥면에 형성되는 레이저광의 초점면과 디스크 면간의 거리는 100 nm 이하로 좁고, SIL 로부터 디스크로 커플링되는 레이저 광에 의한 열은 이 영역을 쉽게 빠져나가지 못하는 상황이 일어나면서 이로 인한 문제점이 발생되는 것이다.

Figure 2 는 실험실에서 연속적으로 10 시간 이상 기록실험 한 후 관측한 SIL 표면 사진이다. SIL 의 중심 즉, 초점 위치에서 오염된 물질의 덩어리가 관측됨을 알 수 있었는데, Auger spectroscopy 로 분석한 결과 디스크 보호막물질과 주변 먼지물질로 구성됨을 알 수 있었다. HDI 에 축적된 열이 주변 물질들을 포함하는 현상으로 여겨지며, 이를 극복할 수 있는 방법으로는, 일부 근접장 효과를 희생시키더라도 레이저광의 초점 면을 디스크 안으로 이동시키는 방법 즉, 유사 근접장 (Pseudo Near-Field) 을 이용하는 방법인데, 이 경우는 디스크에 커버층을 코팅하여야 한다.



Fig. 3 Small form factor optical disk and substrates

2.2 초소형 디스크

Figure 3 은 초소형 디스크와 두 종류의 초소형 디스크용 기관의 사진이다. 초소형 디스크는 디스크 Format 형식 등에 따라 달라지지만 1~2 GB 정도의 용량을 갖는 것으로 직경은 27.4 mm, 기관 두께는 0.6 mm 이다. 기관은 통상의 광디스크용 기관 재료인 Polycarbonate (PC) 와 내흡습성 및 기계적 특성이 우수한 Polyetherimide (PEI) 를 보이고 있다. PC 는 통상의 광디스크와 같이 레이저 광이 기관 입사하는 경우에 이용하는 재료이지만, 본 연구와 같은 근접장을 적용하는 경우, 레이저 광은 기관입사를 하지 않는다. 따라서 PC 와 같이 광학적 특성이 우수해야 할 필요가 없다. PEI 기관의 경우, 옅은 노란색을 띠면서 광학적 특성은 PC 에 비해 떨어지지만, 디스크가 회전하면서 생기는 진동특성이 PC 에 비해 상당히 우수함을 확인하였다. 디스크 회전이 1800 rpm 혹은 5400 rpm 일 때, 진동하는 진폭이 PC 기관에 비해 절반 정도의 특성을 얻은 적이 있었다. 따라서 근접장을 이용하는 경우, 특히 기관의 진동이 헤드의 안정성에 영향을 미치는 바, 기계적 강도가 우수한 PEI 기관이 PC 기관에 비해 유리할 수도 있을 것으로 여겨진다.[2]

기관을 제조하는 과정인 사출 특성을 고려하면, PEI 는 용융점이 PC 에 비해 높은 것으로 알려져 있다. PC 경우 섭씨 120 도 정도면 95% 이상의 전사율을 얻을 수 있는 반면 PEI 경우는 140 도에서 그것과 비슷한 전사율을 얻을 수 있었다. 따라서 기존의 PC 를 위한 사출기의 가열 기능으로는 PEI 를 사출하기에 적합하지 않은 단점이 있는바, 본 연구 과정에서는 스템퍼와 금형간의 열흐름을 줄여주어 효과적으로 온도를 올릴 수 있게 30 μm 정도의 단열물질을 삽입하는 기술을 적용하였다.[2]

한편, 근접장을 적용한 경우의 디스크 구조를 Figure 4 에 보였다. 기존의 광디스크와 다른 점은 커버층을 포함한 그 상부의 디스크 구조이다. 본 연구에서 커버층의 두께는 10 μm 로 하였고, 그 상부에는 DLC (Diamond Like Carbon) 층과 Lubricant 층을 형성시켰다. 먼저 커버층은 자외선 경화수지를 이용하여 스펀코팅 방법으로 코팅하였는데, 그 기능은 디스크 보호 및 오염에 대한 안정성을 유지하면서 유사 근접장을 적용할 수 있도록 하기 위함이다. DLC 는 어느 정도의 경도를 갖게 하여 디스크 보호기능과 더불어 Lubricant 를 코팅하기 위해 제작하였다. Lubricant 의 기능은 하드디스크에서 같이 HDI 의 역학적 문제를 극소화하기 위함이다.[3]

2.3 초소형 디스크의 기계적 특성

Flying 헤드를 적용하여 100 nm 이내의 Flying height 가 유지되는 본 연구의 경우 하드디스크와 같이, 광학헤드와 디스크 간의 충돌이 생겨날 가능성이 높다. 이때 디스크상의 손상이 일어날 수 있기 때문에 디스크 및 기록된 데이터의 보호를 위해 디스크의 기계적 특성이 특히 중요해진다.

본 연구과정에서는 초소형 디스크의 기계적 특성을 하드디스크용 내구성 측정기를 이용하여 측정하였다. 주된 측정방법은 Drag test 였는데, 디스크 상에 측정용 Slider 를 접촉시킨 상태에 일정 힘을 가하고 디스크를 회전시키면서 마찰상태의 변화에 의해 생겨나는 음향신호를 분석하는 방법이다.

앞서 논의한 바와 같이, HDI 특성 향상을 위해 디스크 최상부에 Lubricant 막이 코팅되어 있고 그 바로 아래에 DLC 막이 코팅되어 있다. Lubricant 는 하드디스크와 같은 Z-dol 물질을 이용하고, 두께는 2~5 nm 정도의 두께를 갖도록 하였다.[3] DLC 막은 스퍼터링 방법으로 제작하였는데, 광학적 최적화 하기 위해 스퍼터링 도중 CH₄ 등의 가스를 첨가하거나 기관에 Bias 전압을 걸어 주기도 하였다. 먼저 광학적 특성이란 빛의 투과도를 높여야 한다는 의미인데, 디스크 구조상 레이저 광이 DLC 막을 투과하게 되어 있다. 따라서 DLC 막의 투과도는 클 수록 유리하기 때문에 첨가 가스를 이용하여 투과도를 증가 시켰다. 역학적 강도의 경우는, DLC 막내의 탄소원자들의 결합과 관련되는 값으로 sp³ 결합이 많아질

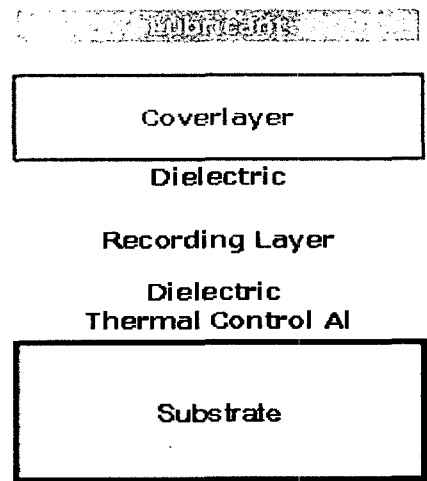


Fig. 4 Disk structure for near-field optics

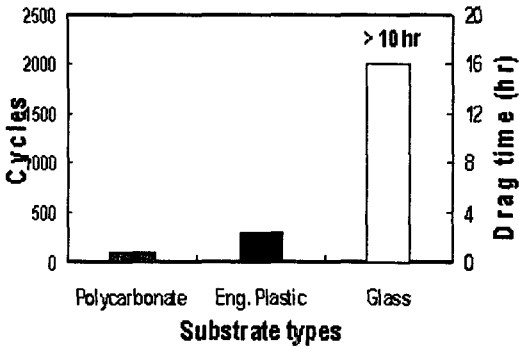
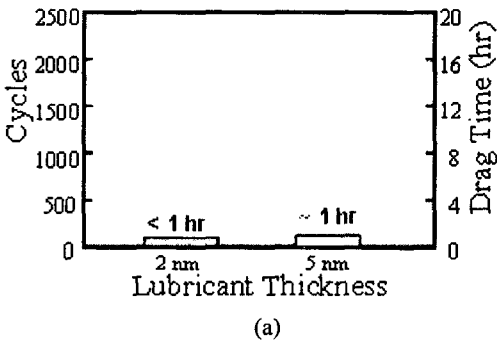
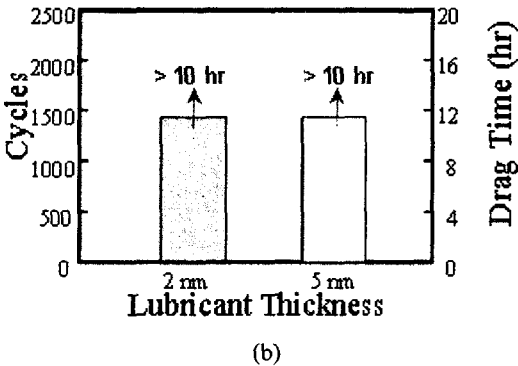


Fig. 5 Results of drag test for various substrates



(a)



(b)

Fig. 6 Results of drag tests (a) before heat treatment and (b) after heat treatment

수록 다이아몬드 특성에 가까워진다. 따라서 sp³ 결합을 증가시키기 위해서는 박막 제조과정에 기관으로 입사되는 탄소원자의 에너지를 증가시켜 주거나 혹은 기관에 Bias 를 걸어주어 스퍼터링 가스를 기관으로 가속시켜주는 기술을 이용한다.[3]

Figure 5 는 유리기관, Engineering Plastic 기관, 그리고 PC 기관의 경우 각각 Drag test 에 의한 초소형 디스크의 내구성 측정결과이다. Drag test 조건으로는, 초소형 디스크의 회전속도 1.5 m/s,

접촉된 Slider 에 가해진 힘은 3 gf 이었다. Figure 5 의 결과에서 볼 수 있듯이 유리 기관의 내구성이 가장 좋았고, PC 기관이 가장 좋지 않음을 볼 수 있었다. 초소형 디스크 내구성에 영향을 미치는 요인으로는 기관자체의 변형 및 진동 그리고 표면상태 등을 꼽을 수 있을 것이다. 이러한 모든 요인들의 관점에서 볼 때, 플라스틱 기관은 유리기관에 비해 특성이 불리한 것은 자명하다. 유리 기관의 특성은 상대적으로 우수하나 궁극적으로 PC 등의 플라스틱 물질을 이용한 저가의 초소형디스크가 바람직함을 고려하면, 기계적 내구성을 갖는 플라스틱 기관개발에 좀더 관심을 기울일 필요가 있겠다.[4]

Figure 6 은 각각 2 nm 와 5 nm 의 두께를 갖는 Lubricant 막의 열처리 전후의 Drag test 결과이다. 열처리 하기 전에는 1 시간 정도의 내구성을 보여주었지만, 열처리 이후에는 10 시간 이상의 내구성을 보여줌을 알 수 있었다. 열처리 조건은 100 도에서 1 시간으로 하였고, 이 과정에 Lubricant 를 구성하는 폴리머들간 혹은 아래의 DLC 막과의 접착을 향상시킨 결과로 해석된다. 결과적으로 Dip 코팅으로 제작한 Lubricant 막의 열처리는 초소형 디스크의 기계적 내구성 향상을 위해 반드시 필요한 과정으로 여겨진다.[5]

2.4 초소형 디스크의 커버층

광디스크의 커버층은 몇 가지의 요건을 갖추어야 하는데, 첫째는 디스크 전체 영역에서 Uniformity 를 갖추어야 하고 둘째는 스핀코팅 시 생겨나는 디스크 가장자리의 Ski-jump (혹은 Edge bead) 가 없거나 작아야 한다. Ski-jump 의 경우 일반적인 스핀코팅에서는 필연적으로 생겨나지만, 초소형 디스크에서는 이의 영향이 기록면적과의 관계에 치명적인 바, 최소화 할 수 있는 방법을 강구하여야 한다. Figure 7 에 스핀코팅 및 이때 생겨나는 Ski-jump 의 Diagram 및 Ski-jump 가 형성되어 있는 초소형 디스크의 사진을 보였다. 스핀코팅 과정에 생기는 이 Ski-jump 는 코팅물질의 표면장력에 의해 생기는 것으로 크기와 정도의 차이는 있을 수 있으나 특수한 방법 없이 없애기는 불가능하다.

자외선 경화수지를 이용하여 커버층을 제작하는 방법에서 Ski-jump 를 제거하기 위해 제안된 방법 중 대표적인 것은 스핀코팅 도중에 자외선을 비추어 경화시키는 방법이다. 스핀코팅 도중에는 수지의 원심력이 표면장력보다 크기 때문에 Ski-jump 가 생겨나 있지 않고, 이 때 자외선을 주사하여 경화시키면 된다. 본 연구에서는 이 방

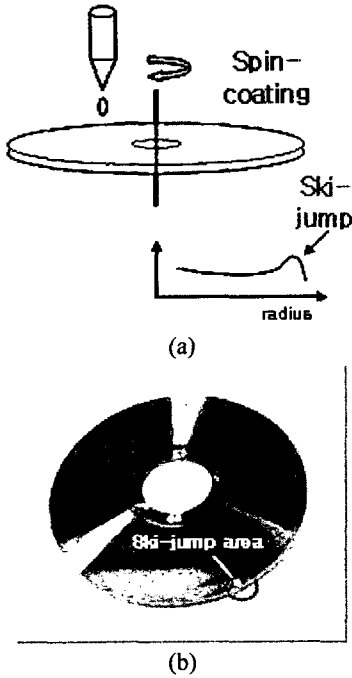


Fig. 7 (a) Diagram of spin coating and ski-jump, and (b) a picture ski-jump on small form factor optical disk

법 대신 초소형 디스크 외곽에 디스크와 같은 재질 및 두께의 Outer ring 을 형성시키는 기술을 적용하였다.

Figure 8 에 Outer ring 을 끼운 초소형 디스크를 보였다. 이 방법은 가장자리의 디스크 면과 Outer ring 을 연속적으로 만들어 줌에 따라 Ski-jump 는 Outer ring 의 바깥에 형성되게 유도하는 방법이다.[6] 이 방법을 시도하는 경우, 초소형 디스크와 Outer ring 간에 불연속 혹은 단차가 생겨나면 안되기 때문에 주의하여야 한다. 또한 커버층 스펀코팅 및 UV curing 이후 Outer ring 을 제거할 때, 디스크 가장자리에서 Outer ring 상의 UV resin 층과 연결흔적이 생겨날 것으로 예상되나 10 μm 정도의 두께에서는 문제 없었다.

한편, 커버층의 경우 Ski-jump 뿐 아니라 커버층 전체의 Uniformity 도 중요한데, Figure 9 (a) 는 Flying 헤드용 초소형 디스크의 커버층 두께인 10 μm 를 제작하여 SEM 으로 관측한 단면 사진을 보였고, Figure 9 (b) 는 반경에 따른 두께를 Ellipsometer 를 이용하여 측정한 결과이다. 스펀코팅으로 커버층을 코팅하는 경우 커버층의 두께 Uniformity 는 스펀코팅 조건과 깊은 관련이 있는데, 예를 들어 코팅온도에 민감한 UV resin 의 점도 혹은 Resin 양과도 관련이 있고, 스펀코터의

회전수 및 회전시간 등이 주요 변수이다. 본 연구 과정에서 초소형 디스크를 구동시키기 위해 Drive 에서 요구하는 스펙은 10±0.2 μm 으로 설정되었고, 제작결과 그 스펙 안의 두께 Uniformity 를 얻을 수 있었다. 다만, 한 장의 디스크 내에서뿐 아니라 여러 장의 Disk-to-Disk 의 Uniformity 도 고려해야 하기 때문에 제작공정 안정성은 중요하다.

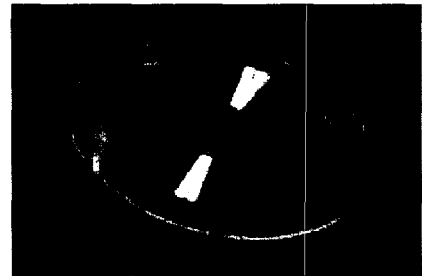
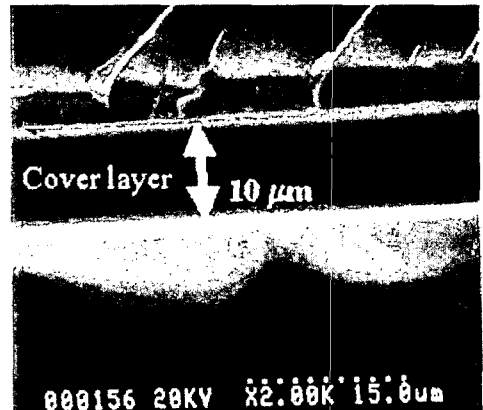


Fig. 8 Small form factor optical disk with outer ring



10 ± 0.2 μm uniformity

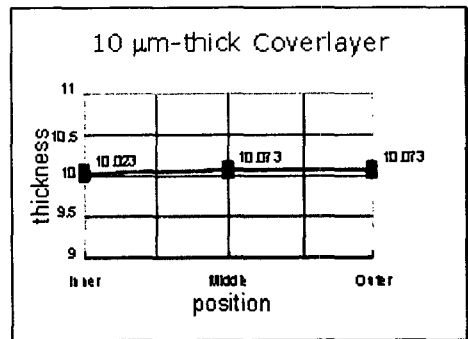


Fig. 9 (a) Cross-sectional image of coverlayer and (b) thickness uniformity

3. 결론

휴대형 기기에서의 적용을 목표로 하는 초소형 디스크를 위한 요소기술들을 개발하였다. 소형화 뿐만 아니라 기록 밀도를 높이기 위해 SIL 을 이용한 근접장 기술을 적용하였고, Flying 헤드의 적용에 따른 HDI 의 역학적 특성을 고려한 초소형 디스크를 개발하였다. 특히 초소형 디스크에 DLC 층과 Lubricant 층을 적용하여 초소형 디스크의 내구성 향상시켰고 Lubricant 막의 열처리가 내구성 향상에 반드시 필요함을 알 수 있었다. 기판의 경우는 Glass 기판의 내구성 특성이 Plastic 보다 우수함을 확인하였다. 균일 두께의 커버층을 제작하여 $10\pm 0.2 \mu\text{m}$ 의 특성을 확보하였으며, 특히 Ski-jump 문제는 Outer ring 기술을 적용하여 해결 할 수 있었다.

참고문헌

- [1] T. D. Milster and S. G. Tang, 2002, "Generation of compact near-field energy for optical recording", Technical Digest of ISOM/ODS 2002, pp.281-282
- [2] Jun-Seok Lee, Kun-Wook Park, Seung-Won Lee, Jin-Hong Kim and Sookyung Kim, 2003, "Substrate for ultra small optical disks", Topical Meeting of ODS 2003, pp.228-230
- [3] Jin-Hong Kim, Dae-Eun Kim and Ho-Jong Kang, 2003, "Head-disk interface in near-field recording disks", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.42, pp.2746-2748
- [4] Koo-Hyun Jung, Jung-Kyu Lee, Dae-Eun Kim and Jin-Hong Kim, 2003, "Effects of substrate and protective coating on the tribological characteristics of optical recording media", Wear, Vol. 255, pp.1306-1313
- [5] Jin-Hong Kim, Ki-Myung Hong, Myung R. Kim, Sookyung Kim, Jung-Kyu Lee and et al., 2002, "Near-field magneto-optical media". Digest Book of MORIS 2002, pp.195-196
- [6] Jong-Hwan Kin, Seung-Won Lee and Jin-Hong Kim, 2004, "Coverlayer fabrication for small form factor optical disks", Proceedings of SPIE ODS 2004, pp. 182-188