

초소형 디스크 요소기술

김진홍[†], 김종환

Technologies for Small Form Factor Optical Disks

Jin-Hong Kim, Jong-Hwan Kim

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

ABSTRACT

Small form factor optical disks for near-field optics using solid immersion lens were developed. Disk durability properties in terms of head-disk interface (HDI) properties were investigated by drag test, diamond like carbon film and lubricant film were coated on the small form factor disk to enhance HDI. Disks with glass substrates and lubricant films after heat treatment showed more durable characteristics. Coverlayers made of UV resin were uniformly coated by spin coating in which the ski-jump could not be formed by adopting outer ring technique.

1. 서론

광 Storage 기술은 CD 에서 시작하여 DVD 를 거쳐 현재는 25 GB 용량의 Blu-ray Disc 까지 상업화에 이르고 있다. 광디스크의 지속적인 발전 방향은 기록밀도를 높여 광디스크의 용량을 늘리는 것이었다. 적외선 레이저를 사용한 CD 의 경우가 장당 640 MB, 적색 레이저를 사용한 DVD 경우가 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 등장하면서 소형 저장매체 등이 등장하기 시작하였다. 플래쉬메모리를 비롯하여 소형 하드디스크 등이 경쟁하면서 휴대형 기기를

공략하고 있다. 광디스크의 최대의 장점이라고 할 수 있는 점은 내장된 드라이브를 이용하면서 디스크 매체만의 교체가 가능하다는 점일 것이다. 이 점은 플래쉬메모리와는 비슷한 면이 있지만, 가격 경쟁력에서 볼 때 광디스크를 따라 올 수 없다.

광 기록기술의 큰 흐름은 기록밀도 향상과 더불어 휴대형 기기 적용목적의 소형화로 볼 수 있고, 본 논문에서는 근접장을 이용한 초소형 광디스크 개발에 필요한 요소기술을 중심으로 논의 하겠다.

2. 초소형 광디스크 요소기술

2.1. 초소형 디스크용 근접장 광학계
광기록에서 집속된 레이저 광의 직경 D 는

$$D = \lambda / NA$$

로 표현된다. 여기서 λ 는 레이저 파장, NA (Numerical Aperture) 는 광학계의 개구수 이다. 기록밀도를 높일 수 있는 기본적인 원리는 기록/재생용 레이저 광의 크기를 줄여주면 되는데,

[†] LG전자기술원

E-mail : jinhkim@lge.com

TEL : (02)526-4574

D 를 줄여 기록밀도를 늘이기 위한 기본적인 접근방법으로는 레이저의 파장을 줄이는 방법과 광학계 NA 를 크게 하는 것이다. 기록밀도를 증가시키기 위한 이러한 방향은 기존의 광디스크뿐 아니라 고용량을 위한 초소형 광디스크에도 같이 적용된다.

가시광선에서 최소 파장인 청색레이저를 이용하여 파장을 최소화 하는 경우, 광학계의 NA 를 늘이는 방법으로는 그림 1과 같이 Solid Immersion Lens (SIL) 를 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 파장 이상으로 멀어지면, 디스크면 상의 레이저광의 크기는 더 커지게 될 것이다. 이러한 현상이 바로 근접장인데, 흔히 Evanescent 파라고 하며 프리즘에서 빛이 전반사 될 때 일어나는 현상과 같은 상황을 일컫는다.

렌즈와 광디스크 면간의 거리를 일정하게 유지시켜주기 위해서는 몇 가지 조건이 필요하다. 먼저, 광학헤드와 광디스크면 간의 거리를 조절해 줄 수 있는 기능이 있어야 하고, 그리고 디스크면이 충분히 평편해야 하며, 또한 광학헤드가 따라 움직일 수 있도록 광디스크의 진동이 적어야 한다. 마지막으로는 광학헤드와 광디스크면 간의 충돌이 가급적 없어야겠지만, 만일의 경우 충돌이

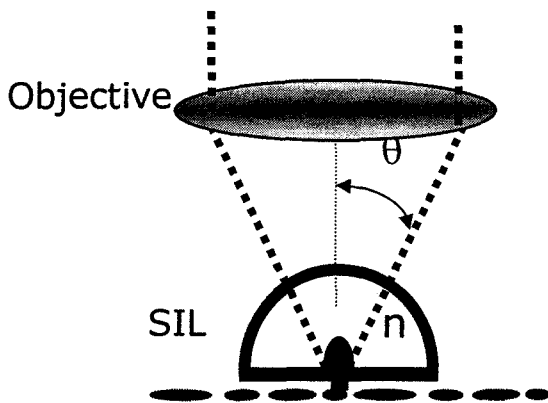


Fig 1. Solid immersion lens system.

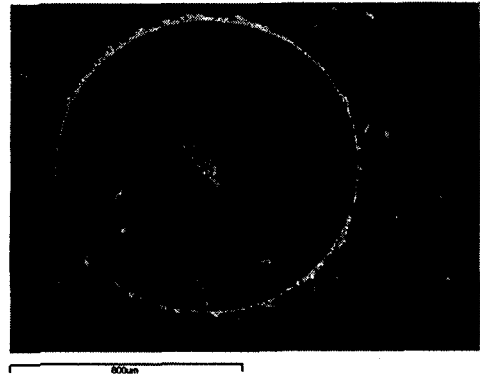


Fig. 2. Contaminated solid immersion lens.

일어나더라도 데이터의 손실이 일어나지 않아야 할 것이다. 이처럼 SIL 을 이용하는 경우, Head-Disk Interface (HDI) 의 기계적인 문제가 중요하다. HDI 의 기계적 문제와 더불어 SIL 과 디스크간에 일어나는 열적인 문제도 풀어야 할 중요한 문제 중 하나이다. 즉, SIL 바닥면에 형성되는 레이저광의 초점 면과 디스크 면간의 거리는 100 nm 이하로 좁은 상황이고, SIL 로부터 디스크로 커플링된 레이저 광에 의한 열은 이 영역을 쉽게 빠져나가지 못하는 과정이 일어나게 되면서 이로 인한 문제점이 발생된다.

그림 2는 실험실에서 연속적으로 10시간 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 보호막물질 과 주변 먼지물질로 구성됨을 알 수 있었다. HDI 에 축적된 열이 주변 물질들을 포집하는 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 방법이다. 이 경우 디스크에 커버층을 코팅하여야 한다.

2.2. 초소형 디스크

그림 3은 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

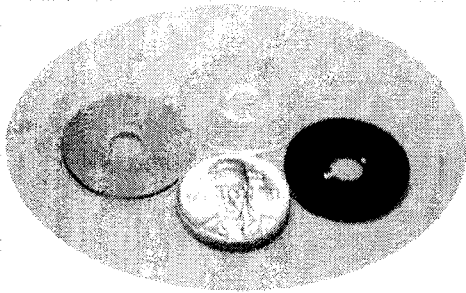


Fig. 3. Small form factor optical disk and substrates.

(PEI) 를 보이고 있다. PC 는 통상의 광디스크와 같이 레이저 광이 기관 입사하는 경우에 이용하는 재료이지만, 본 연구와 같은 근접장을 적용하는 초소형 디스크의 경우 레이저 광은 기관입사를 하지 않는다. 따라서 PC 와 같이 광학적 특성이 우수해야 할 필요가 없다. PEI 기관의 경우, 약간의 색깔을 띠는 물질로 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 고려하

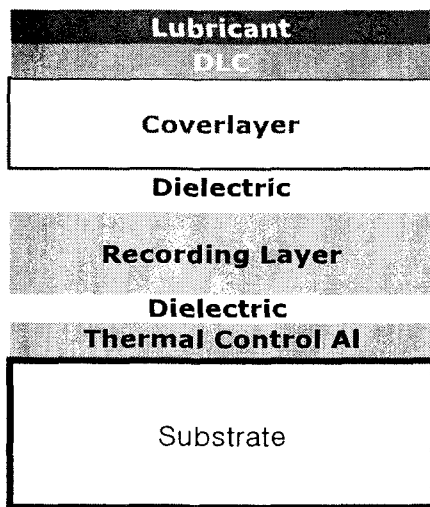


Fig. 4. Disk structure for near-field optics.

지 않을 수 없는데, PEI 는 용융점 등이 PC 에 비해 높은 특성이 있다. PC 인 경우는 120도 정도면 95% 이상의 전사율을 얻을 수 있는 반면 PEI 의 경우는 140도에서 그것과 비슷한 전사율을 얻을 수 있었다. 따라서 기존의 PC 를 위한 사출기로는 PEI 를 사출하기에 적합하지 않은 단점이 있는바, 본 연구 과정에서는 스탬퍼와 금형간에 열의 흐름을 줄여주어 효과적으로 온도를 올릴 수 있게 30 μm 정도의 단열물질을 삽입하는 기술을 적용하였다.⁽²⁾

한편, 근접장을 적용한 경우의 디스크 구조를 그림 4에 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 는 하드디스크에서 같이 HDI 문제를 극소화하기 위해 코팅하였다.⁽³⁾

2.3. 초소형 디스크의 기계적 특성

근접장을 적용하기 위한 초소형 디스크의 광학계는 하드디스크의 경우와 같이 Flying head 를 적용하였다. 따라서 초소형 디스크 상에 100 nm 이내로 근접한 광학헤드와 디스크 간의 충돌이 생겨날 가능성이 높다. 이 경우 디스크상의 손상이 일어날 수 있기 때문에 디스크 및 기록된 데이터의 보호를 위해 디스크의 기계적 특성이 중요해진다.

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

앞서 논의한 바와 같이 Flying 용 초소형 디스크의 경우는 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 CH_4 등의 가스를 첨가하거나

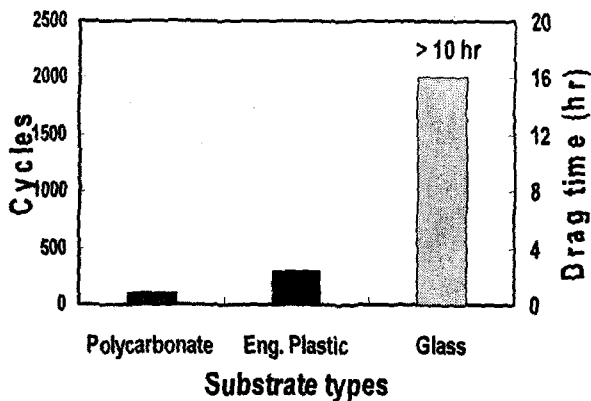
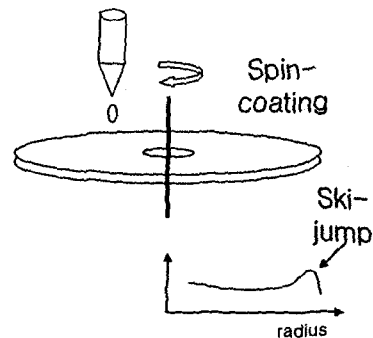
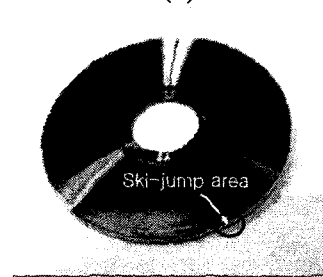


Fig. 5. Results of drag tests for various substrates.

기판에 Bias 전압을 걸어주기도 하였다. 먼저 광학적 특성이란 빛의 투과도를 높여야 한다는 의미인데, 디스크 구조상 레이저 광이 DLC 막을 투과하게 되어 있다. 따라서 DLC 막의 투과도는 충분히 커야 할 필요가 있기 때문에 침가 가스를 이용하여 투과도를 증가 시켰다. 역학적 강도의 경우는, DLC 막내의 탄소원자들의 결합과

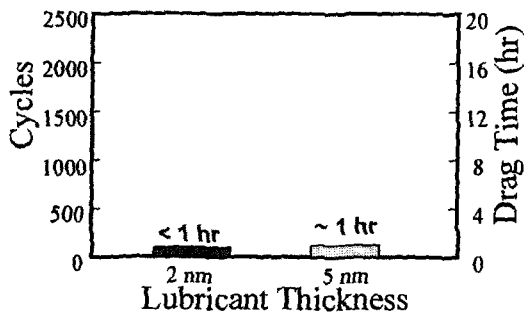


(a)

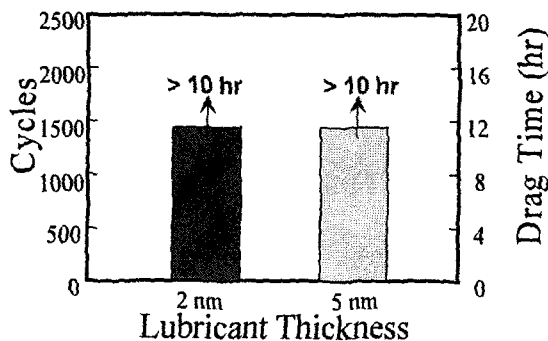


(b)

Fig. 7. (a) Spin coating and (b) ski-jump on the disk



(a)



(b)

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

관련되는 값으로 sp^3 결합이 많은 경우 다이아몬드 특성에 가까워지는데, 이는 강도와 직접적인 관련이 있다. 따라서 sp^3 결합을 증가시키기 위해서는 박막 제조과정에 기판으로 입사되는 탄소원자의 에너지를 증가시켜주거나 혹은 기판에 Bias 를 걸어주어 스퍼터링 가스를 기판으로 가속시켜주면 된다.⁽³⁾

그림 5은 유리기판, Engineering Plastic 기판, 그리고 PC 기판의 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. 그림 5의 결과에서 볼 수 있듯이 유리 기판의 내구성이 가장 좋았고, PC 기판이 가장 좋지 않음을 볼 수 있었다. 초소형 디스크 내구성에 영향을 미치는 요인으로는 기판자체의 변형 및 진동 그리고 표면상태 등을 꼽을 수 있을 것이다. 이러한 모든 요인들의 관점에서 볼 때, 플라스틱 기판은 유리 기판에 비해 특성이 불리한 것은 자명하다. 유리 기판의 특성은 상대적으로 우수하나 궁극적으로 PC 등의 플라스틱 물질을 이용한 저가의 초소형디스크가 바람직함을 고려하면, 기계적 내구성을 갖는 플라스틱 기판개발에 좀더 관심을 기울일 필요가 있겠다.⁽⁴⁾

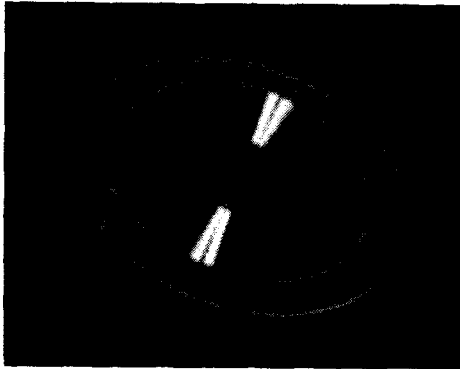


Fig. 8. Outer ring for small form factor disk.

그림 6은 각각 2 nm 와 5 nm 의 두께를 갖는 Lubricant 막의 열처리 전후의 Drag test 결과이다. 열처리 하기 전에는 1시간 정도의 내구성을 보여주었지만, 열처리 이후에는 10시간 이상의 내구성을 보여줄 수 있었다. 열처리 조건은 100 도에서 1시간으로 하였고, 이 과정에 Lubricant 를 구성하는 폴리머들이 아래에 있는 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

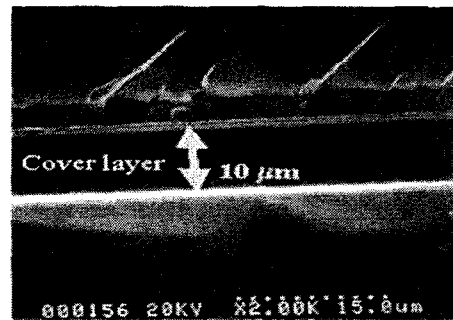
광디스크의 커버층은 몇 가지의 요건을 갖추어야 하는데, 첫째는 디스크 전체에서의 Uniformity 를 갖추어야 하고 둘째는 스핀코팅 시 생겨나는 디스크 가장자리의 Ski-jump 혹은 Edge bead 가 없거나 작아야 한다. Ski-jump 의 경우는 일반적인 스핀코팅에서는 필연적으로 생겨나지만, 초소형 디스크에서는 Ski-jump 의 영향이 기록면적과의 관계에 치명적인 바, 최소화 할 수 있는 방법을 강구하여야 한다. 그림 7에 스핀코팅 및 이때 생겨나는 Ski-jump 의 Diagram 및 Ski-jump 가 형성되어 있는 초소형 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 방법 대신 초소형 디스크 외곽에 디스크와 같은 재질 및 두께의 Outer ring 을 형성시키는 기술을 적용하였다.

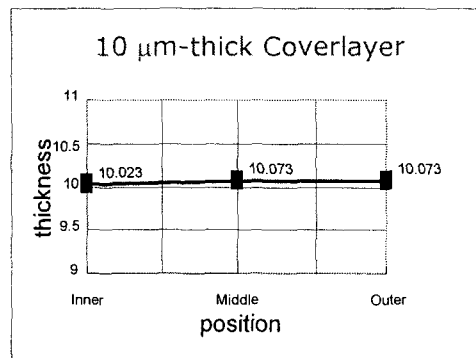
그림 8에 Outer ring 을 끼운 초소형 디스크를 보였다. 이 방법은 가장자리의 디스크 면과 Outer ring 을 연속적으로 만들어 줌에 따라 Ski-jump 는 Outer ring 의 바깥에 형성되게 유도하는 방법이다.⁽⁶⁾ 이 방법을 시도하는 경우, 초소형 디스크와 Outer ring 간에 불연속 혹은 단차가 생겨나면 안되기 때문에 주의하여야 한다.

한편, 커버층의 경우 Ski-jump 뿐 아니라 커버층 전체의 Uniformity 도 중요한데, 그림 9은 Flying 헤드용 초소형 디스크의 커버층 두께인 10 μm 를 제작하여 SEM 으로 단면 사진을 관측하고 반경에 따른 두께 Uniformity 를 측정된 결과 이다. 본 연구 과정의 스펙은 $10 \pm 0.2 \mu\text{m}$ 으로 설정하였던 바, 충분히 스펙 안으로 두께 Uniformity 를 얻을 수 있었다. 다만, Disk-to-Disk 의 Uniformity 도 고려해야 한다.



(a)

$10 \pm 0.2 \mu\text{m}$ uniformity



(b)

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

3. 결론

휴대형 기기에서의 적용을 목표로 하는 초소형 디스크를 위한 요소기술들을 개발하였다. 같은 두께의 Outer ring 을 끼워서 코팅하는 소형화뿐 아니라 기록 밀도를 높이기 위해 SIL 을 이용한 근접장 기술을 적용하였고, Flying 헤드의 적용에 따른 초소형 디스크를 개발하였다. 특히 초소형 디스크에 HDI 를 고려한 DLC 층과 Lubricant 층을 적용하여 초소형 디스크의 내구성을 연구하였다. 균일 두께의 커버층을 제작하여 $10\pm 0.2 \mu\text{m}$ 의 특성을 확보하였으며, 특히 Ski-jump 는 Outer ring 기술을 적용하여 문제해결 할 수 있었다. 기계적 특성이 우수한 플라스틱 물질인 PEI 를 적용하여 HDI 성능은 일부분 향상시킬 수 있었으나 Glass 기판의 특성이 더욱더 우수 하였고, Lubricant 막의 열처리가 필요함을 알 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, Koo-Hyun Jung, and Dae-Eun Kim, 2002 "Near-field magneto-optical media" Digest Book of MORIS 2002, (pp. 195-196).
(6) Jong-Hwan Kim, Seung-Won Lee and Jin-Hong Kim, 2004 "Coverlayer fabrication for small form factor optical disks" Proceedings of SPIE ODS 2004, (pp. 182-188).