

# 블루레이 디스크의 커버레이어 스펀 코팅 시 다양한 패턴에 따른 최적화된 폴리머 거동에 관한 연구

신홍규 <sup>#</sup>, 조기철 <sup>1</sup>, 박유하 <sup>2</sup>, 김현영 <sup>2</sup>, 김병희 <sup>2</sup>, 이해곤 <sup>3</sup>, 손성기 <sup>3</sup>

## Flow Behavior of Thin Polymer Film by various patterns in Spinning Coating Process of Blu-ray Disc Cover layer

H. K. Shin, K. C. Cho, Y. H. Park, H. Y. Kim, B. H. Kim, H. G. Lee and S. G. Son

### Abstract

In this paper, experimental methods about the flow behavior of thin polymer film by various edge patterns in the spin coating process for stable cover layer coating of a blu-ray disc is described. The blu-ray disc, a next-generation optical disc format over 25GB, consists of a 1.1mm thick substrate and a 0.1mm tick cover layer. Generally, cover layer on the blu-ray disc is made by the polymer spin coating process. However, it is hard to secure sufficient coating uniformity around the rim on the cover layer. In order to get the uniform thickness deviation and to minimize the bead around the rim, the edge of the disc substrate can be modified into various patterns, such as normal plain, trench, step and chamfer pattern, etc, around the rim on the disc and experimented with various parameters, such as surface tension, viscosity, coating time, temperature and rotation speed, etc. And the optimal shape of the rim was tried to get by 3 dimensional computer simulation of the polymer expulsion process.

**Key Words** : Blu-ray disc, Follow behavior, Spin coating, PUA(polyurethane-acrylate)

### 1. 서 론

광디스크 비디오 레코딩의 포맷으로 DVD 디스크가 개발되어 상용화되고 있으며, 차세대 광저장 솔루션인 HD-DVD 의 표준규격으로 블루레이 (Blu-ray) 디스크가 개발에 성공하여 상용화 준비를 앞두고 있다[1]. CD, DVD 와 같은 광 정보 저장 기기에서 이루어져온 기록밀도향상으로 차세대 블루레이 디스크에서는 기존의 직경 12cm 에 25Gbit 이상을 저장하기에 이르렀다[2]. 현재 국내 LG, 삼성을 비롯해 국외의 소니, 필립스, 마쓰시다, 히타치, 파이오니아, 미쯔비시, JVC, 샤프,

Thomson 등이 혁신적인 광 정보저장 장치의 개발에 적극적인 참여를 하고 있다[1]. DVD 이상의 마진을 얻기 위해서, 블루레이 디스크는 405nm 파장의 레이저와 NA(Lens numerical aperture) 0.85 의 대물 렌즈를 사용해야 하는데, 이때 투과 매체의 두께가 0.1mm 수준이어야 한다. 하지만 0.1mm 의 기판을 제작하는 것이 어렵기 때문에 기판 자체는 1.1mm 를 유지하고 그 위에 0.1mm 의 커버레이어 (cover -layer)를 도포하고 이 커버레이어를 통해 레이저 빔이 입사되어 기록 및 재생이 되도록 한다 [3~4]. 이때 커버레이어 도포 방법으로 사용되는 스펀 코팅은 원가가 적고 공정이 용이하지만 코

1. 강원대학교 기계·메카트로닉스공학과 대학원

2. 강원대학교 기계·메카트로닉스공학부

3. ㈜ JMI

# 교신저자: 강원대학교 기계·메카트로닉스공학과 대학원,

E-mail : hass0728@korea.com

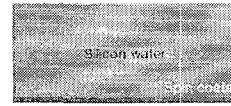
팅 이후 두께가 안쪽에 비해 바깥쪽이 두껍게 분포되어 두께 균일도의 확보에 어려움이 있다[5]. 스핀 코팅 시 커버레이어의 두께 형성에 영향을 주는 인자로는 스핀속도, 스핀시간, 표면장력, 점도, 스핀 가속비와 감속비등이 있고[6], 이러한 인자를 조정하여 스핀코팅법의 문제점을 해결하려는 연구가 이루어지고 있다.

본 연구에서는 실리콘 웨이퍼 상에 균일하게 PUA(Polyurethan-acrylate)를 도포하기 위하여 웨이퍼 끝단을 일반 실리콘 표면, 트랜치, 스텝과 챔퍼와 같은 다양한 형상으로 가공하여 가장 균일하게 PUA 레진이 도포되는 형상을 찾고자 하였으며, 컴퓨터를 이용한 유동해석을 통해 시뮬레이션 결과와 비교 분석하였다.

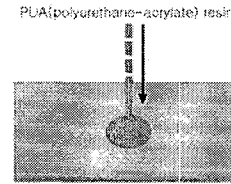
## 2. 스핀 코팅시 커버레이어 형성 실험

### 2.1 스핀 코팅

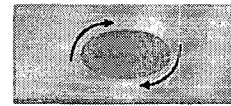
스핀 코팅을 이용한 폴리머 커버레이어 실험에는 산화막 처리가 되지 않은 일반적인 실리콘 웨이퍼와 PUA 폴리머 레진(polymer resin)을 사용하였다. 일반적으로 폴리머는 PC (polycarbonate), PUA (polyurethane-acrylate), PMMA (polymethylmethacrylate)등과 같은 열가소성 플라스틱(thermoplastic)을 이용한다. 특히, PUA는 고분자 폴리머로 온도와 압력의 변화에 대해 작은 수축 상수를 가진다. 또한, 광 투과성이 좋고, 내열성, 내수성, 내화학적 뛰어난 성질을 가지고 있다[7]. 스핀 코팅은 폴리머 레진을 웨이퍼 중앙에 일정량을 떨어뜨려 원심력을 이용하여 레진이 웨이퍼 표면에 고르게 퍼지는 원리를 이용하였다. 웨이퍼 표면의 미세 먼지나 파편들로 인해 스핀 코팅 시 레진이 비산되는 것을 방지하기 위하여, 메탄올에 30초, DI 워터 1분간 세척 후, 질소로 불어내어, 스핀 코팅 실험을 하였다. 실험 조건으로 실내 온도 22~23℃, 습도 50~60%를 유지하였으며, 4inch 웨이퍼 상에 레진의 점도는 5000cps, 토출 시간은 약 3초로 기판 중앙에 3g의 레진을 떨어뜨린 뒤, 1500~2000RPM 이상의 회전력을 주어 레진을 실리콘 기판 위에 고르게 분산시키는 과정으로 수행하였다. 이때 회전 속도와, 가·감속비, 회전 시간의 조절로 커버레이어의 두께 조절이 가능하였다. 스핀 코팅 과정은 Fig. 1과 같다.



(a) silicon wafer set up on spin coater



(b) PUA resin, 5000cps, 3g



(c) spin velocity, 1500~2000rpm, 1min

Fig. 1 Spin coating process of cover layer

스핀 코팅된 웨이퍼를 경화시키기 위해서, 전기로에 넣고 160℃에서 10 분간 구운(baking) 후, 질소를 불어 유리전이온도 Tg 이하로 냉각시키면 경화(curing)된 PUA 레지스트(resist) 웨이퍼를 얻을 수 있다. Fig. 2 는 스핀 코팅에 의한 커버레이어 제조공정 후 레진의 두께를 측정하는 장치로서, 레이저 다이오드(Laser Diode)에서 발산된 레이저 빔이 반사체에 반사되어 다시 수광부에 들어가는 방식의 측정장치로 실질적인 두께 측정은 매질의 굴절 차이를 이용한다. 레이저 측정 장치를 이용하여 스핀 코팅 공정 후 커버레이어의 두께를 측정한 결과는 Fig. 3 과 같다. 디스크의 중심에서 외주로 52mm 까지는 균일한 PUA 의 도포가 이루어졌으나, 디스크 외주의 55mm 부근에서 레진이 두껍게 분포하는 것을 확인하였다. 이는 폴리머가 디스크의 끝단 경계면과 만난 후, 경화되는 과정에서 디스크의 중심방향으로 폴리머 유동이 일어난 것으로 판단되며, 폴리머의 역류를 방지하기 위하여 과도하게 스핀 코팅 시, 폴리머 레진이 디스크 외주에서 비산되는 현상이 발생하였다. 디스크 끝단 경계면이 커버레이어의 균일성에 영향을 주는 것으로 판단하여, 트랜치(trench), 스텝(step), 챔퍼(chamfer)등과 같은 다양한 패턴으로 스핀 코팅 실험을 수행하여 폴리머의 역류가 최소화되는 패턴을 찾고자 하였다.

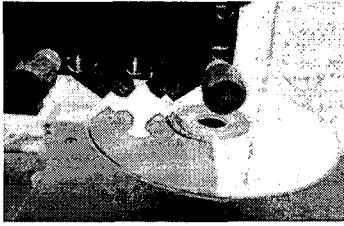


Fig. 2 Device for measuring the thickness of thin film

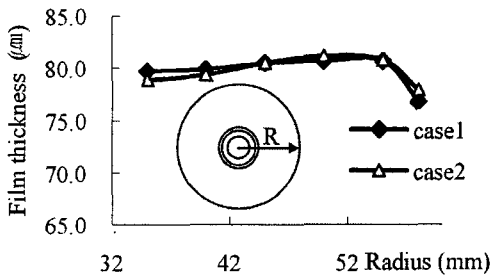


Fig. 3 Thickness distribution of cover layer

## 2.2 다양한 패턴에 따른 폴리머 거동

폴리머 레진의 역류를 방지하기 위하여, 실리콘 끝단 경계면과 PUA 레진의 접촉면과 접촉 각도를 높이는 공정이 중요하게 작용하였다. 실리콘 표면에 다양한 패턴을 제작하기 위하여, Quantronix 사의 ultrafast Ti-Sapphire CW 레이저를 사용하였다. 780nm 의 파장과 130fs 의 펄스폭, 반복율은 1kHz 이다. 실리콘 자체에 180mW 로 가공하였으며, 레이저 가공 후 주변의 산소와 만나 발생하는 산화층(SiO<sub>2</sub>) 및 파편(debris)을 제거하기 위하여, 40%의 불산(HF)으로 에칭 후, 30%의 70°C KOH 용액에 약 10 분간 습식 공정 및 세척 공정을 거친 후 사용하였다[8]. 펄스초 레이저와 깊이 30µm 의 가공된 실리콘 웨이퍼 표면은 Fig. 4 와 같다.

웨이퍼의 두께 편차를 줄이기 위한 다양한 패턴은 Fig. 5 와 같다. 스핀 코팅 후, 끝단 형상을 측정하기 위하여 Fig. 6 과 같은 3 차원 광학 측정 장치를 이용하였다. 3 차원 광학 측정 장치는 간섭 무늬(interference fringe)를 이용한 방식으로, 간섭편

즈가 광축 방향으로 수 nm 의 미소 간격으로 스캐닝(scanning)하면서 영상내의 모든 영역(640 x 480µm)에서 간섭 신호 발생 여부를 점검하여 3 차원 형상을 산출하는 방법을 이용하고 있다.

Fig. 5 (a)의 스텝(step) 패턴은 일반 실리콘 웨이퍼의 끝단과 비슷하나 끝단을 기준으로 중심 방향으로 폭 5mm, 둔덕 깊이 200µm 로 가공하였다. 스핀 코팅 결과는 일반적인 웨이퍼 끝단과 유사한 높이의 둔덕이 발생하였다. Fig. 5 (b)는 레이저로 가공하지 않고 다이아몬드 커터로 실리콘 웨이퍼 표면에 직접 가공한 스크래치(scratch) 패턴으로, PUA 레진의 스핀 코팅 시, 실리콘 표면의 미세한 스크래치 패턴 위를 직접 도포하면서 코팅되었다. 스핀 코팅 공정에서 직접적인 영향을 주지 않는 것으로 판단되었다. Fig. 5(c)는 펄스초 레이저를 이용하여 가공한 트랜치(trench) 패턴으로 선폭 25µm, 깊이 30µm 로 가공되었으며, 스핀 코팅 후, 스텝 패턴과 유사하게 끝단의 둔덕이 발생하였으나, PUA 레진 일부가 트랜치 패턴 내부로 직접 스며들어 둔덕의 높이가 감소하였다. 따라서, 트랜치 패턴의 적절한 선폭과 깊이 조절이 균일한 스핀 코팅 시, 커버레이어의 두께 제어에 중요한 요소로 작용하리라 판단된다. 또한, Fig. 5(d)는 실리콘 웨이퍼 끝단에 약 60° 의 각을 준 챔퍼(chamfer) 패턴이다. 다른 패턴들과 달리 둔덕 형성이 상당히 낮게 나타났으며, 일부 실험 조건에서는 PUA 레진이 비산하는 결과가 나타났다. 이는 스핀 코팅 실험에 앞서 실행한 패턴에 따른 점도 실험에서도 가장 작은 크기의 둔덕이 나타났다. 따라서, 금형상에서 웨이퍼 끝단에 임의의 각을 주어 제작하면 둔덕의 균일화뿐만 아니라, 공정시간 및 비용 절감에 상당한 영향을 주리라 판단된다. 향후, 챔퍼 각을 45° 이하로 설정하여 스핀 코팅 공정을 수행할 예정이다.

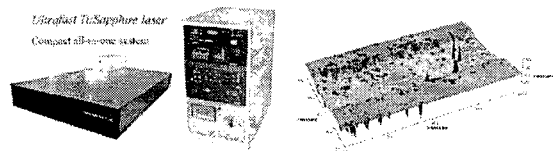
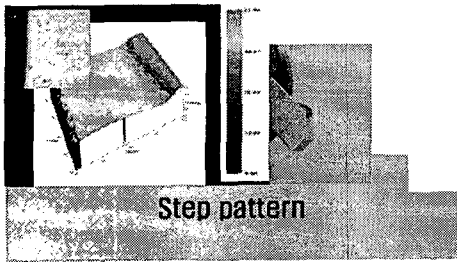
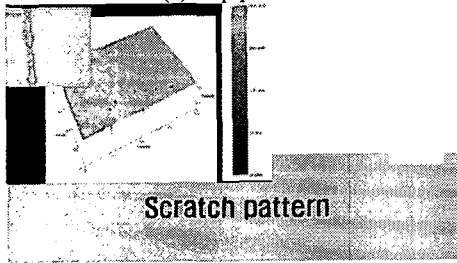


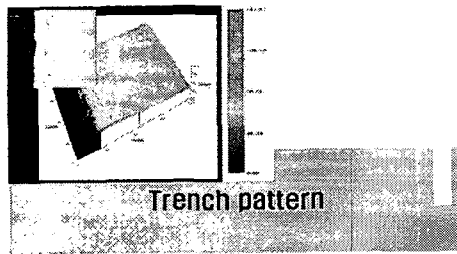
Fig. 4 Ti-Sapphire CW laser and processing image of trench pattern on silicon wafer using laser



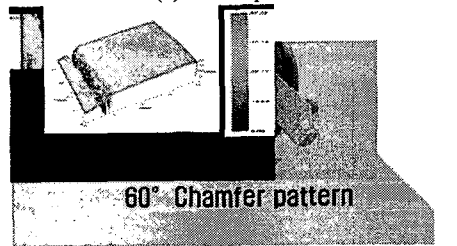
(a) step pattern



(b) scratch pattern



(c) trench pattern



(d) chamfer pattern

Fig. 5 Various patterns on the silicon wafer

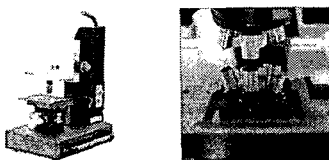


Fig. 6 Measurement by 3D optics system

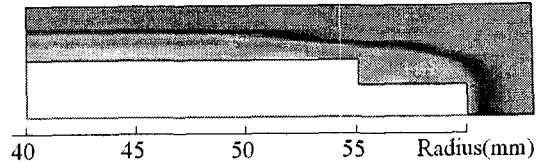


Fig. 7 Flow pattern of step pattern

또한, 다양한 패턴에 따른 스핀 코팅 실험결과  
의 타당성을 위해서, 컴퓨터를 이용하여 유동해석  
을 수행하였다. 스텝패턴을 Flow 3D를 이용하여  
폭 5mm, 깊이 50 $\mu$ m의 값으로 Fig. 7과 같은 유동  
해석을 수행하였다. 유동해석결과는 기관의 높이  
가 낮아지는 부분에서 레진의 두께가 감소하는  
것으로 확인되었다. 이 결과는 실제 실험결과인  
Fig. 5(a)에서 스텝이 시작하는 부분에서 둔덕이 감  
소하는 점에서 유사했으나, 끝단의 둔덕이 증가하  
는 부분에서 반대의 결과가 나타났다. 향후, 다양  
한 실리콘 끝단 패턴 및 스핀 코팅 조건에서 유  
동해석을 수행할 예정이다.

### 3. 결론

본 연구에서는 실리콘 웨이퍼 상에 균일한 커  
버레이어(cover-layer)의 제작을 위하여 실리콘 상  
에 다양한 끝단 패턴을 적용하여 스핀코팅을 수  
행하였다. PUA (Polyurethan-acrylate) 레진을 다양한  
스핀코팅 조건에서 도포하였으며, 스텝(step), 스크  
래치(scratch), 트랜치(trench), 그리고 챔퍼(chamfer)  
패턴과 같은 다양한 끝단 패턴의 실리콘 웨이퍼  
를 적용하였다. 트랜치 및 챔퍼 패턴에서 끝단 둔  
덕이 감소하는 것을 확인하였으며, 금형상에서 웨  
이퍼 끝단에 임의의 각을 주어 제작하면 둔덕의  
균일화뿐만 아니라, 공정시간 및 비용 절감에 상  
당한 영향을 주리라 판단된다. 또한, 유동해석 프  
로그램인 Flow-3D 를 이용하여 스텝패턴에서의  
PUA 레진의 둔덕 변화를 실제 실험과 비교하였다.  
향후, 끝단 각을 45° 이하로 설정하여 컴퓨터를  
이용한 유동해석 결과와 비교·분석을 할 예정이다.

### 후기

본 연구는 과학기술부의 21C 프론티어 사업  
중 한국기계연구원이 주관하고 있는 나노메카트  
로닉스 기술개발 사업의 세부과제인 “나노 사출

성형 공정 및 응용 기술개발”의 위탁과제 수행결과의 일부로 세부과제 주관기관인 (주)JMI와 협동기관인 연세대학교의 도움에 감사 드립니다.

### 참 고 문 헌

- [1] Alan E. Bell and Christopher J. Cookson, 2004, Next generation DVD: application requirements and technology, Signal Processing: Image communication 19, pp. 909~920.
- [2] S.H.Lee, M.S.Jung, J.S.Sohn, T.S.Song, N.C.Park, Y.P.Park, 2003, Design of Slim Optical Pickup for Blu-ray Disk, KSPE, pp. 386~389.
- [3] Holger Hofmann, Soren Dambach, Hartmut Richter, 2002, Blue laser phase change recording system, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 249, pp. 499~503.
- [4] Fuxin Huanga, Yiqun Wua,b, Donghong Gua, Fuxi Gana, 2005, Synthesis, spectroscopic and thermal properties of nickel (II)eazo complexes with blue-violet light wavelength, Dyes and Pigments 66, pp. 77~82.
- [5] Jeffrey F. Taylor, 2001, Spin Coating : An Overview, Metal Finishing, Volume 99, pp. 16~21.
- [6] J.H. Tortai, 2004, Modeling of ultra thin resist film structure after spin-coating and post-application bake, Microelectronic Engineering 73~74, pp. 223~227.
- [7] 김한도, 이동진, “광섬유 2 차 코팅용 UV 경화 폴리우레탄 아크릴레이트의 특성에 관한 연구”, 한국섬유공학회지, 제 35 권 제 12 호 pp739 ~ 745
- [8] S. Dauer, A. Ehlert, S. Buttgenbach, 1999, Rapid prototyping of micromechanical devices using a Q-switched Nd:YAG laser with optional frequency doubling, Sensors and Actuators 76, pp. 381~385.