

BD Recorder 용 3 축 독립구동 Twin-Objective 액추에이터 개발 Development of Twin-Objective Actuator with Radial Tilt Function for Blu-Ray Disc Recorder

김석중[†], 허태연*, 김태경**, 안영만*, 정종삼**, 박수한*

Seok-Jung Kim, Tae-Youn Heor, Tae-Kyung Kim, Young-Man Ahn, Chong-Sam Chung,
and Soo-Han Park

Abstract

Recently, an optical disc system has been proposed using blue laser diode, high NA objective lens and groove only disc structure. A new method is needed to readout CD and DVD in this Blu-Ray Disc Recorder. In order to readout CD and DVD in Blu-Ray Disc Recorder, we adopted dual-lenses actuator in consideration of optical utilization efficiency, optical performance and insurance of sufficient W.D (working distance). This dual-lenses actuator has two objectives in radial direction, one is for CD/DVD and the other is for BD. We had to solve the induced problems of collision between disc and lens, DC tilt increase, AC tilt increase, 2nd resonance deterioration and AC sensitivity drop caused by disposing two lenses in an actuator. Also we developed high response twin-objective actuator with radial tilt function to apply high-speed BD Recorder or BD Player. Consequently we presented that two kinds of dual-lenses actuators for BD Recorder have been possessed good performance in 3 axis directions. And we measured eye patterns of CD, DVD and BD by using one BD optical pick-up with dual-lenses actuator.

Key Words : Twin-objective Actuator(액추에이터), Working Distance(작동거리), CD, DVD, BD

기호설명

GB : Giga-byte
G : acceleration, 9.8m/s²
T : Tesla
dB : decibels, 20Xlog(displacement/voltage)

1. 서론

최근 들어 파장 407[nm]인 청색 레이저 다이오드와 개구수(Numerical Aperture)가 0.85의 대물렌즈를 조합한 광픽업과 디스크의 그루브에만 기록하는 디스크(groove only disc)를 적용하여 디스크 1매에 편면 25GB, 양면 50GB의 정보 저장이 가능

한 광디스크 시스템, 즉 Blu-Ray Disc Recorder 혹은 Blu-Ray Disc Player가 제안되었다. [1][2] 기존 Digital Versatile Disc(DVD)의 경우에는 파장 650[nm]의 적색 레이저 다이오드와 개구수 0.65의 대물렌즈를 적용한 픽업으로 디스크 1매당 4.7GB의 정보 저장이 가능하다. 상기 Blu-Ray Disc(BD)는 1982년 Compact Disc(CD), 1996년 DVD를 잇는 제 3세대 규격이라고 할 수 있으며, HDTV 영상을 2시간 이상 녹화할 수 있는 녹화기로 BD의 기록용량을 편면 단층 매체에서 25GB, 편면 이중 매체에서 50GB로 끌어 올렸다. 그런데 상기 시스템은 하위 기종과의 호환성 때문에 CD와 DVD를 동시에 기록 재생할 수 있도록 하여야 한다. DVD가 시장에 처음 나왔을 때에도 가장 큰 이슈중의 하나는 하위 기종인 CD의 호환에 관한 것이었고, 이 문제를 해결하기 위해 다양한 호환 방식이 제안되었다.[3] 이러한 여러 가지 방법 중에서 최종적으로는 전면 회절형(diffractive-refractive) 대물렌즈를 사용하여 DVD에서 CD 제

[†] 삼성전자 DVS 사업부 개발 1 그룹

E-mail : sjkim95@samsung.com

* 삼성전자 DM 연구소 Media Solution Team

** 삼성전자 DVS 사업부 개발 1 그룹

논문접수일 (2005년 4월 6일)

생이 가능하도록 하였다. 그런데 Blu-Ray Disc Recorder 에서 BD 이외에 CD 및 DVD 를 모두 재생하기 위해서는 현재까지 광학 기술에 따르면 광의 이용효율과 광학성능 그리고 충분한 W.D 확보 측면에서 2 개의 대물렌즈를 사용하는 것이 현실적으로 바람직한 선택일 수 있다.[4][5] 그런데 CD, DVD 및 BD 의 3 가지 광디스크가 모두 기록 및 재생이 가능한 Blu-Ray Recorder 용 광픽업을 구성하기 위해 액추에이터 가동부에 2 개의 대물렌즈를 레이디얼 방향으로 장착하고, 또한 이중매체(dual layer)의 재생 혹은 기록시 발생하는 광학적 인 신호 개선을 위한 홀로그래프 소자를 부착하게 됨에 따라 액추에이터는 디스크와 렌즈간 충돌문제, 2 개 렌즈간 경사관리 문제, DC tilt 량 증가, AC tilt 량 증가, 2 차 공진 저하, 감도 저하 등의 다양한 문제점이 야기되게 되고 그 결과 성능이 양호한 액추에이터를 설계 제작하는데 많은 어려움이 따르게 된다. 따라서 본 논문에서는 상기 문제점을 해결하도록 하여 초기 BD 용 액추에이터보다 성능이 양호한 고배속용 BD 액추에이터를 설계, 제작한 결과를 제시하고자 한다.[6][7] 그리고 상기 액추에이터를 장착한 광픽업에 의한 지터 특성 결과를 제시하여 한 개의 픽업으로 CD 및 DVD 재생, BD 재생 및 기록이 가능한 호환 픽업의 실례를 제시하고자 한다.

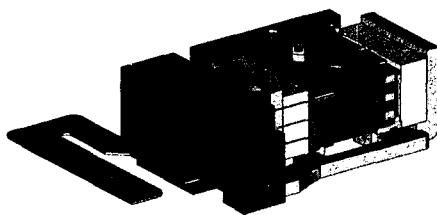


Fig. 1 Layout of assembled actuator

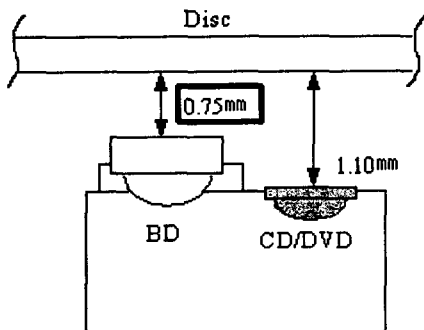


Fig. 2 Neutral positions of actuator in the axial direction

Table 1 Specifications of CD/DVD and BD lenses

Items	BD	CD/DVD
Working Distance [mm]	0.55	0.89/1.25
Numerical Aperture	0.85	0.47/0.60

Table 2 Requirement of specifications in Actuator in case of BD 1x and BD 2x

Disc		AC Sensitivity [G/V]		2 nd resonant freq. [kHz]	
		focus	track	focus	Track
BD	1x	6.4	4.0	≥ 15.6	≥ 15.6
	2x	12.9	9.7	≥ 31.6	≥ 31.6

2. Twin-Objective Lens Actuator 고려사항

2.1 설계(Design) 및 구조(Structure)

본 논문에서 제시하는 바와 같이 한개의 액추에이터 가동부에 레이디얼 방향으로 2 개의 대물렌즈를 장착한 광픽업인 경우에는 디스크 내주와 외주의 반경 차이에 의한 트래킹 서보 신호의 위상차 발생이 없다는 장점을 가지고 있으며, 액추에이터 구조상으로도 탄젠셜 방향으로 렌즈들이 배치되는 경우와 비교해 보면 블레이드 크기의 소형화가 가능한 이점을 가지게 된다.

그림 1 에 상기 액추에이터의 사시도를 나타내었다. 그런데 2 개의 대물렌즈를 한개의 가동부에 배치하기 위해서는 2 개 대물렌즈의 공간적인 위치 선정이 반드시 필요하게 된다. BD 용 대물렌즈와 DVD 용 대물렌즈간 작동거리(Working distance) 차이는 0.70mm 이다. 이와 같이 작동거리의 차이가 크에 따라 야기될 수 있는 문제는 픽업이 CD 혹은 DVD 를 재생시 BD 용 대물렌즈와 디스크간의 충돌이 발생한다는 점과 액추에이터의 포커스 방향 작동거리가 커진다는 점이다. 따라서 본 논문에서 제시된 2 개 대물렌즈 장착 액추에이터의 경우에는 그림 2 에 나타난 바와 같이 BD 대물렌즈의 초기 위치는 W.D 위치에 두지 않고 W.D 보다 0.20mm 낮은 위치로 설정하여 DVD 혹은 CD 의 재생시 BD 용 대물렌즈와 디스크간 충돌을 방지할 수 있도록 하고 CD 및 DVD 렌즈는 각각의 W.D 의 중간값인 1.10mm 로 설정하여 포커스 방향 작동거리를 줄일 수 있도록 했다. 그리고 스핀들 모터와 가까운 쪽에 CD 및 DVD 용 대물렌즈를 배치하고 먼 쪽에 BD 용 대물렌즈가 배치되도

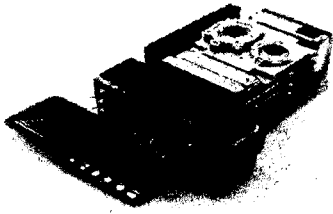


Fig. 3 High response twin-objective actuator

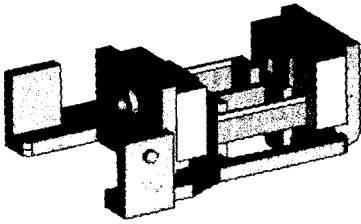


Fig. 4 Constitution of magnetic circuit in high response twin-objective actuator

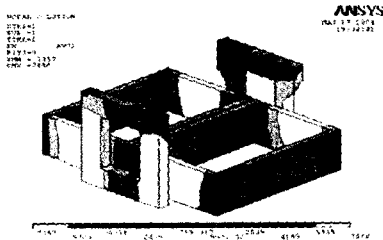


Fig. 5 Magnetic circuit analysis in twin-objective actuator (0.51 T in focus coil, 0.59 T in track coil)

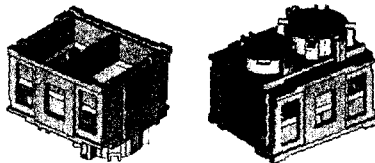


Fig. 6 Structure of moving parts in high response twin-objective actuator

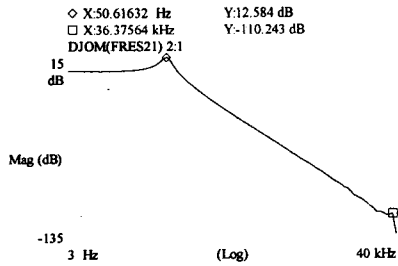
록 하여 디스크의 스택링(stack ring)과 렌즈간 충돌을 방지하도록 했다.

또한 액추에이터는 서보 제어기와 연계되어 CD, DVD, BD 등 제반 광기록-재생 시스템에서 디스크에 정보를 기록 또는 재생하기 위한 광픽업의 위치 추종기구로 동작하고 있다. 따라서 디스크의 회전속도, 기록밀도 등이 상이한 시스템에 적용되는 액추에이터의 주파수 특성값은 각각의 시스템에

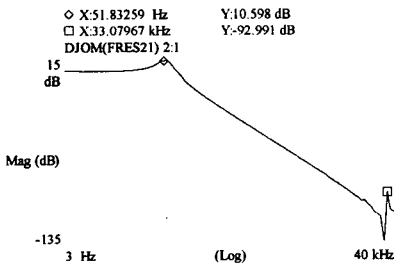
적합한 크기로 최적화되어야 할 필요성이 있게 된다. 일반적으로 배속 대응에 따른 액추에이터 필요사양은 AC 감도(AC Sensitivity)와 2 차공진 주파수 특성에 의해 결정되는 것으로 알려져 있는데 향후 BD의 고배속 기록 및 재생이 필요할 경우에는 이에 적합한 AC 감도 및 2 차공진 주파수 특성을 갖는 액추에이터를 설계, 제작할 필요성이 대두된다고 할 수 있다.[8][9] 표 2에 BD 배속에 따른 필요 AC 감도와 2 차공진주파수 사양을 계산한 결과를 나타내었다.

표 2에 따르면 BD Recorder 2 배속 대응이 가능한 액추에이터는 DVD 16 배속 대응 액추에이터와 유사한 크기의 AC 감도와 2 차공진 주파수를 확보해야만 한다. 따라서 본 연구에서는 BD Recorder 2 배속 대응이 가능하도록 충분히 높은 AC 감도와 2 차공진주파수 특성을 가지는 2 개 렌즈 적용 액추에이터를 설계, 제작한 결과를 제시하고자 한다. 상기 액추에이터는 2 개 대물렌즈간 배치, 시스템의 Playability 향상을 위한 레이디얼 틸트 구동, 편향 디스크 대응이 가능하도록 고안된 기구적인 AC tilt 보정 기능 등의 설계 항목은 포함하면서도 추가로 고배속 대응을 위한 목적으로 감도 및 2 차공진주파수 특성이 향상되도록 하였다.

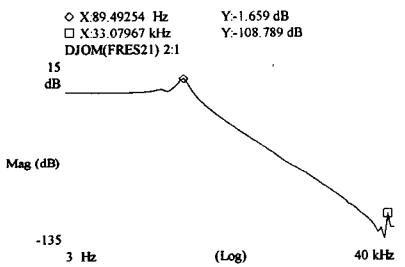
상기 고배속용 BD 액추에이터는 그림 3에 나타낸 바와 같이 한면이 개방된 박스 형태의 블레이드 구조와 2 분극 자석 및 이에 대응하는 포커스 및 트랙코일 배치를 특징으로 하고 있다. 특히 자기회로 구조는 그림 4에 나타낸 바와 같이 포커스 코일은 2 개의 대물렌즈를 중심으로 각각 권선된 2 개의 공심 코일로 구성되도록 하고 레이디얼 틸트 코일은 2 개 대물렌즈를 포함하는 1 개의 공심 코일로 별도 구성되며, 트랙 코일은 상기 2 개의 공심 코일간의 중심위치에 배치되며 이에 대향하는 자석은 레이디얼 방향으로 분극된 2 분극 자석으로 구성되어 있기 때문에 포커스 코일 및 트랙코일, 레이디얼 틸트 코일의 유효길이 비율이 높아 효율적인 추력 발생이 가능하다. 그림 5에는 상기 자기회로에 대한 해석 결과를 나타내었는데 2 분극 자석으로부터 발생하는 자속의 집속 기능을 갖도록 하는 2 개로 분리된 내요크 구조(2-piece yoke)로 인해 포커스 및 트랙 코일에 적용되는 자속밀도값이 모두 0.5Tesla 이상으로 매우 높은 크기의 추력 발생이 가능함을 확인할 수 있다. 또한 블레이드 구조는 한면이 개방된 박스 형태로 되어 있어서 강성은 유지하면서도 무게 감소에 적합한 형태로 그림 6에 대물렌즈와 각각의 코일을 포함한 액추에이터 가동부 구조를 나타내었다.



(a) Bode plot in focusing direction



(b) Bode plot in tracking direction



(c) Bode plot in radial tilt direction

Fig. 7 Bode plots in 3-axis directions

2.2 실험(Experiment) 및 성능(Performance)

상기 고배속 BD Recorder 용 액추에이터에 대한 설계 및 시뮬레이션 과정을 거쳐 제작된 액추에이터에 대한 포커스 및 트랙, 레이디얼 틸트방향 보드선도 측정 결과를 그림 7에 나타내었다. 그리고 액추에이터의 대표적인 성능값은 표 3에 나타내었다. 그림 7과 표 3에 나타낸 바와 같이 고배속 BD Recorder 용 액추에이터는 포커스 12.1 G/V, 트랙 14.5 G/V의 높은 수준의 AC 감도를 나타내고 있으며, 2차공진 주파수에 대한 Gain margin 또한 43 dB 이상 확보하여 2배속 BD 대응이 가능하다. 또한 고배속 BD 용 액추에이터는 그림 4에서 보는 바와 같이 자석이 레이디얼 방향으로 분극되어 있기 때문에 트랙 자기회로의 경우 분극 자석이 적용되는 반면에 포커스 자기회로는 분극 자석 적용이 아니라 단극 자석이 적용되고 있다. 따라서 상기 액추에이터는 포커스 방향 선형성이 매우 양호한 특성을 가질 수 있다. 그림 8에 초기 BD 용

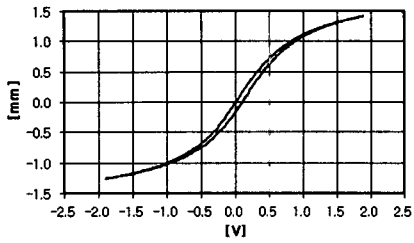
Table 3 Characteristics of twin-objective actuator

방향	시 양	실 속 값
F O C U S	고유진동수(Hz)	51.8
	DC감도(mm/V)	1.25
	AC감도(G/V)	12.1
	Q Factor(dB)	10.9
	2차공진주파수(kHz)	36.3
	2차공진 계인마진(dB)	59
T R A C K	고유진동수(Hz)	56.9
	DC감도(mm/V)	1.38
	AC감도(G/V)	14.5
	Q Factor(dB)	8.2
	2차공진주파수(kHz)	33.3
	2차공진 계인마진(dB)	43.3
T I L T	고유진동수(Hz)	91.6
	DC감도(deg/V)	2.9
	Q Factor(dB)	7.8

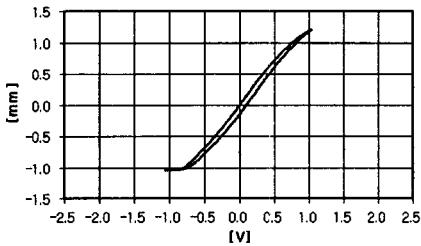
액추에이터와 고배속 BD 용 액추에이터의 히스테리시스 선도를 나타내었다. 초기 액추에이터의 경우 포커스 자기회로가 분극 자석을 적용하기 때문에 가동거리 ±0.8mm 까지 선형성이 확보되는 반면에 고 배속 대응 액추에이터의 경우 가동거리 ±1.0 mm 이상까지 선형성이 확보되는 것을 확인 할 수 있다.

특히 BD Recorder 용 픽업에서는 CD, DVD, BD 렌즈간의 W.D가 상이하기 때문에 포커스 가동거리가 더 커지게 됨에 따라 충분한 가동거리에 대한 선형성 확보가 매우 중요한 성능이라고 할 수 있으며, 이는 향후 디스크 판별시 사용되는 DDT(Disc Detection Time) 신호 검출에도 영향을 미치는 항목으로 포커스 선형성의 확보는 매우 중요하다 할 수 있다.

특히 고배속 대응 액추에이터는 초기 액추에이터에 비해 가동부 무게 및 크기면에서 많은 개선이 이루어진 상태라고 할 수 있다.[6][7] 초기 BD Recorder 용 액추에이터에서 가동부 무게는 0.9 g 인 반면에 고배속 대응 BD Recorder 용 액추에이터는 가동부 무게가 0.45 g 으로 대폭 감소하였다. 그리고 가동부 크기 또한 초기 액추에이터는 12.0X14.4X6.8 mm³ 인 반면에 고배속 액추에이터는 11.0X7.8X6.2 mm³ 로 대폭 감소하였고 액추에이터 전체의 크기 또한 17.6X26.7X9.7 mm³ 에서 15.7X23.0X8.6 mm³ 로 감소하여 기존의 한 개 대물렌즈 적용 액추에이터 대비 크기가 크지 않기 때문에 2 개 렌즈를 보유한 광픽업 소형화에 매우 유리한 조건을 확보한 상황이라고 할 수 있다.

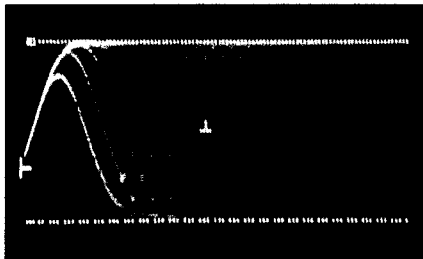


(a) initial twin-objective actuator

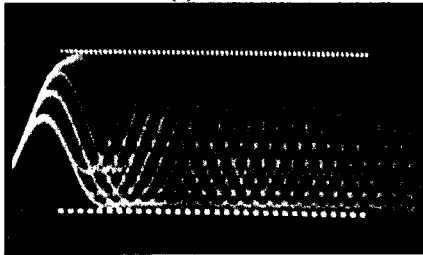


(b) current twin-objective actuator

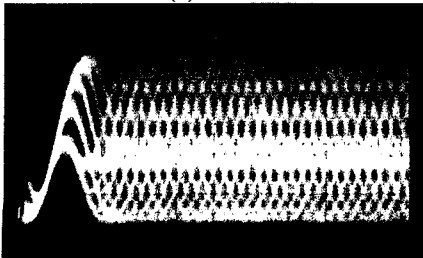
Fig. 8 Hysteresis plots in focus direction



(a) CD



(b) DVD



(c) BD

Fig. 9 Eye patterns of CD, DVD and BD

그리고 상기 액추에이터를 적용한 광픽업을 통해 CD, DVD 와 BD 에 대한 지터값(jitter value, data to clock)을 측정 한 결과는 그림 9 에 나타내었다.

CD 의 경우 11 nsec, DVD 의 경우 7.0 %, BD 의 경우 5 %를 나타내었다. 상기 지터값을 측정하는 과정에서 사용된 BD 시스템 사양은 디스크상의 트랙 피치(track pitch) 0.32 μm , 최소 피크길이(minimum pit length) 0.186 μm , 17PP channel modulation method 를 적용하였다.

광디스크를 재생 또는 기록하는 과정에서 픽업 특성을 나타내는 지터값은 디스크상의 길이가 각각 다른 피트 신호를 반복적으로 재생할 경우 측정되는 신호의 시간축에서의 표준편차를 의미하며, BD 에서 지터값이 5%, DVD 에서 지터값이 7%, CD 에서 지터값이 11ns 로 나타난 경우 상기 디스크를 재생하는 픽업의 특성이 양호함을 의미한다.

3. 결 론

본 논문에서는 BD 뿐만 아니라 CD 및 DVD 재생이 가능한 BD 픽업을 구성하기 위해 액추에이터 가동부에 2 개의 대물렌즈를 레이디얼 방향으로 배치하고 홀로그래프 소자를 추가로 장착한 BD Recorder 용 액추에이터를 설계, 제작하였다. 상기 액추에이터는 디스크와 렌즈간 충돌문제, 2 개 렌즈간 경사관리 문제, DC tilt 량 및 AC tilt 량 증가, 2 차공진주파수 및 감도 저하 등의 다양한 문제점이 야기됨에 따라 이들 문제점들을 해결하도록 하여 특성이 양호한 고배속 BD Recorder 용 액추에이터를 설계, 평가한 결과를 제시하였다. 상기 고배속 대응 BD Recorder 용 액추에이터는 2 개 대물렌즈간 배치, 시스템의 Playability 향상을 위한 레이디얼 틸트 구동, 편향 디스크 대응이 가능하도록 고안된 기구적인 AC tilt 보정 기능 등의 설계 항목은 포함하면서도 추가로 고배속 대응을 위한 목적으로 감도 및 2 차공진주파수 특성이 향상되도록 하였다.

그리고 고배속 대응 BD Recorder 용 액추에이터는 포커스 자기회로를 분극 자석 적용이 아니라 단극 자석으로 적용하여 가동거리 $\pm 1.0 \text{ mm}$ 이상까지의 가동 범위에 대해 선형성이 매우 양호한 특성을 가질 수 있었다. 또한 최종적으로는 상기 BD Recorder 용 액추에이터를 장착한 BD 픽업으로 지터값 특성 결과물을 도출하여 BD 픽업에서 CD 및 DVD 재생이 가능함을 제시하였다.

참고문헌

- [1] Isao Ichimura, Shin Masuhara, Jun Nakano, Yutaka Kasami, Kouichi Yasuda and Kiyoshi Osato, 2001, "In-Groove phase-change optical recording for a capacity of over 24GB", Technical Digest of ODS'01, pp.139-141
- [2] Tae Kyung Kim, Young Man Ahn, Tatsuhiro Otsuka, Hae Jung Suh, Chong Sam Chung, Chul Woo Lee and Eiji Tanaka, 2001, "NA 0.85 3-element objective lens", Technical Digest of ISOM'01, pp.262-263
- [3] Chul Woo Lee, Chong Sam Chung, Kun Ho Cho, Tae Kyung Kim, Soo Yul Jung, Byoung Ho Choi, Jang Hoon Yoo, Joong Eon Seo and Dong Ho Shin, 1996, "A Compact Disc Compatible Digital Video Disc Pickup Using Annular Mask", Technical Digest of ODS'96, pp.348-350
- [4] Hiriyuki Shindo, Ichiro Morishita, Noriyoshi Takeya, Hoseop Jeong, Yonghan Yoon, Incheol Chang, Hyungjin Kim, Dongwoo Lee, Jeongho Oh, Chonsu Kyong, "BD/DVD Recording and Reproducing Compatible Use Technology in the 2nd generation Pick Up for Blu-ray Disc", Technical Digest of ISOM'03, pp.224-225
- [5] Ryuchi Katayama, "Blue/DVD/CD Compatible Optical Head Technologies", Technical Digest of ISOM'03, pp.216-217
- [6] Seok Jung Kim, Yong Hoon Lee, Young Man Ahn, Chong Sam Chung, 2002, "Study on Dual Lenses Actuator for HD-DVD Systems", KSNVE Proceedings of Fall Annual Conference, pp.777-781
- [7] Seok Jung Kim, Tae Youn Heor, Tae Kyung Kim, Young Man Ahn, Chong Sam Chung, 2004, "High Response Twin-Objective Actuator with Radial Tilt Function for Blu-ray Disc Recorder", Technical Digest of ISOM'04, pp.166-167
- [8] Junya Aso, Takashi Haruguchi, Shogo Horinouchi, 2002, "High Response Actuator with Tilt Function for 12.7mm Slim Optical Disc Drives", Technical Digest of ISOM/ODS 2002, pp.326-328
- [9] G Bouwhuis, 1986, Principles of Optical Disc Systems, Adam Hilger Ltd., Bristol and Boston.