

DVD 규격의 개요와 향후 기술 동향

임종락, 손희기

LG전자 디지털미디어 연구소

1. 서론

80년대 이후, 광디스크(optical disc) 제품의 환경은 급격히 변해 왔다. 멀티미디어 논의가 본격화되면서 멀티미디어 시스템의 중심이 될 저장매체로 차세대 광디스크(현재의 DVD)에 대한 기대가 고조되었다. 차세대 광디스크가 갖추어야 할 요구조건은 멀티미디어 시스템에 적합한 기능이 구현될 수 있을 것, 복잡한 정보처리를 통하지 않고도 각종 응용 기기 간에 자유로운 정보교환이 가능할 것 그리고 기존의 CDDA(Compact Disc Digital Audio, 이하 CD), CD-ROM(CD-Read Only Memory) 등과의 하위 호환성(backward compatibility)과 장래의 확장 가능성 등이 보장될 것 등이다.

규격(format)에 관한 논의 초기부터 헐리우드의 스튜디오 오나 정보 산업계의 요구에 대한 대응으로 DVD(Digital Versatile Disc)를 계획해 왔으며, Audio/Video 및 컴퓨터용 정보를 통합할 수 있는 규격 제정 노력과 CD, CD-ROM 등의 기존 소프트웨어 자산을 계승/통합하려는 구상 하에 규격을 논의하였다. 결과적으로 DVD는 멀티미디어 시대의 통합된 정보저장 규격으로 제정되었다.

1982년에 실용화된 CD는 단순한 음악용 저장매체로 출발했지만, 컴퓨터용 정보저장매체인 CD-ROM, 동화상(moving picture) 저장매체인 Video CD로 전개되어, 현재 까지도 주요한 package media로 확장/보급되어 왔다. 그러나 고화질 동화상 재생을 가능하게 한 디지털 압축기술인 MPEG2(Moving Picture Experts Group 2)가 규격화되고 멀티미디어 시대가 도래하자, 고화질의 동화상을 저장할 수 있는 대용량의 광디스크에 대한 기대가 고조된다. 이런 요구를 만족시키기 위하여 DVD는 4.7GB(Giga Byte)라는 아주 큰 저장용량(storage capacity)을 갖게 되었고, 이는 기술적으로 단파장(short wave-length) 레이저, 두께 0.6mm의 박형 기판(substrate)의 사용과 높은 개구수(NA : Numerical Aperture)의 대물렌즈(objective lens)의 채용으로 가능하였다. 한편 이시기에 적색 반도체 레이저 기술, 고NA 대물렌즈 성형기술, 박형 기판 성형기술 등 광디스크의 고밀도화를 실현 가능하게 하는 핵심기술들이 발전되어 왔다.

이와 같은 배경으로 1994년 12월에 MMCD (Multi-Media CD) 규격이, 1995년 1월에 SD (Super Density) 규

격이 발표되었다. 이후, 영화업계, 컴퓨터업계 등의 요구로 양 규격은 DVD 규격으로 통합되었고, 1996년 8월에 재생전용 DVD 규격이 발표되었다. 재생전용 DVD의 저장용량은 CD의 7배 이상이고, CD 크기의 디스크(지름 12cm)에 MPEG2 디지털 압축 동화상을 2시간 이상 재생할 수 있는 정보를 저장할 수 있다.

2. 광 기록/재생 기술

일반적인 광디스크의 구조는 그림 1과 같다.

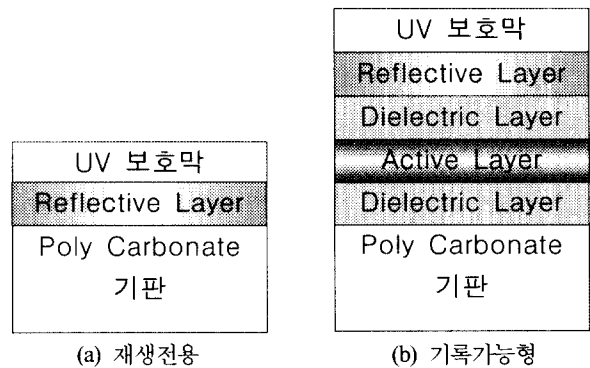


그림 1. 광디스크의 구조

재생전용 광디스크는 투명한 기판에 요철형상의 피트(pit)가 형성되어 있고, 그 위에 레이저빔의 반사를 위해 높은 반사도(reflectivity)를 갖는 반사층(reflective layer: Al 합금)이 형성되어 있으며, 상부에 보호층 및 인쇄물이 프린트되어 있다. 기판의 재질은 광학특성과 생산성(압출성형성)을 고려하여 Poly-carbonate가 쓰이고 있다. 기록가능형 디스크의 구조는 투명 기판 위에 기록막(recording layer)의 양측에 고유점 유전체(dielectric layer)를 보호층으로 입히고 Al합금을 반사층으로 하는 4층 구조이다.

광디스크의 재생원리는 다음과 같다. 기록면에 초점(focus)이 맞춰진 레이저를 비추면, 기판 표면에 만들어진 피트의 존재 유무에 따라, 입사광과 반사광 사이에 위상차(phase difference)가 생기고, 이 위상차에 따른 광간섭(light interference)으로 반사 광량(light intensity)에 차이가 생기게 된다. 이 광량의 차이를 PD(Photo Detecto)

에서 검출하여 기록된 정보(pit 유무)를 읽어 낸다[1]. 피트의 크기는 CD의 경우, 0.12 μm 의 깊이(광학적으로 레이어 파장의 1/4)에 지름은 약 0.6 μm 정도이다.

CD가 고안된 이후 약 15년 동안 디지털 신호처리 기술, 정밀서보기술, 정밀기계기술 등의 발전으로 고밀도 정보저장기술이 실현 가능하게 되었다. 광디스크의 저장 용량은 재생 레이저빔의 크기로 결정되며, 이는 대물렌즈의 NA와 레이저 파장의 함수이다. CD는 780nm 파장의 적외선 레이저를 쓰는데 반하여 DVD는 650nm 파장의 적색 레이저를 사용한다. 그림 2는 CD와 DVD의 기판에 형성된 피트를 측정한 것으로 면밀도(areal density)의 향상을 단적으로 보여 주고 있다.

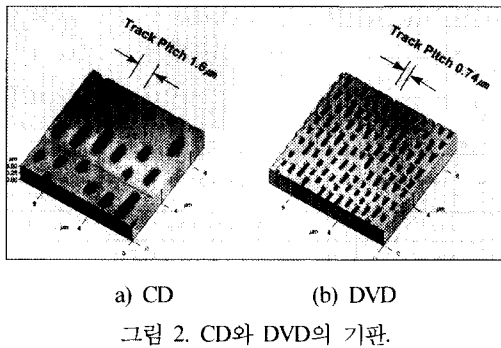


그림 2. CD와 DVD의 기판.

3. DVD Family

DVD는 당초에 동화상 저장 수단으로 제안되었으나, 멀티미디어 응용 분야로 확장되고 있다. 이와 같은 다양한 응용 분야에 대응하기 위하여 DVD Family는 표 1과 같은 구성을 갖고 있다. 재생전용규격으로는 DVD-Video, DVD-Audio, DVD-ROM 등이 있다.

표 1. DVD Family

Read (Playback) only		
Single Layer	Single Sided	4.7GB
	Double Sided	4.7GB × 2
Dual Layer	Single Sided	8.5GB
	Double Sided	8.5GB × 2

Recordable		
Write Once	Single Sided	3.95GB
	Double Sided	3.95GB × 2
Rewritable	Single Sided	2.6GB
	Double Sided	2.6GB × 2

또한 DVD-R(DVD-Recordable) 및 DVD-RAM (DVD-Random Access Memory) 등의 기록가능 규격으로도 확장되었다. 이 기록규격들은 실현 가능한 기술 수준을 고려하여, 재생전용규격보다는 기록용량이 작게 규격화되

었다. 각 규격들은 상호간의 호환성을 유지할 수 있도록 그림 3과 같은 상호 연관성을 갖고 있다. 즉 재생신호의 변조(modulation), Sector 구조, 에러정정(error correction) 그리고 파일시스템(file system)등이 공통적으로 사용되어, 가격 상승 없이 Family 간의 호환성을 갖는 드라이브나 Player를 설계할 수 있게 되었다[2].

반복기록이 가능한 DVD-RAM 규격에는 재생전용규격과 광학 시스템의 호환성(반사율 등)을 유지하기에 편리한 상변화(phase change)기술이 채용되었으며 1997년 4월에 Ver.0.9가 발표되었고 7월에 최종 규격(Ver.1.0)이 확정되었다. 자세한 기록기술은 3.2절에서 상세히 다루었다.

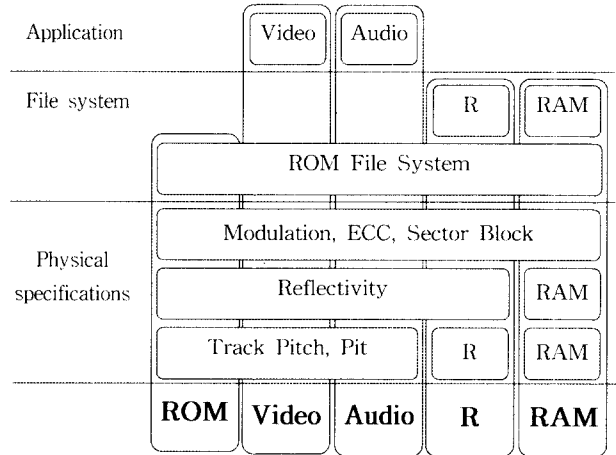


그림 3. Format Compatibility.

3.1 물리적 규격(Physical Format)

재생전용 DVD의 주요 물리적 사양은 표 2와 같다. DVD는 650nm/635nm의 적색 반도체 레이저와 NA값 0.6의 대물렌즈를 쓰는 광헤드(optical head)로 재생하는 것을 전제로, 트랙간격(track pitch)은 0.74 μm , 최단 피트 길이는 0.4 μm 이다.

변조 방식은 CD에서 쓰는 EFM(Eight to Fourteen Modulation)보다 DR(Density Ratio)가 높은 8/16 변조 방식을 채용하고 있다. Sector 크기는 2,048 Byte이며, 에러정정 방식은 16개의 Sector를 단위로 하는 Reed Solomon Product Code이다. 이와 같은 규격으로 지름 12cm의 단층(single layer) 디스크의 편면(single side)에 4.7GB의 저장용량을 확보하였다[3].

디스크에 고밀도로 기록된 신호를 충실히 재생하기 위해서는 레이저 광 Spot의 크기를 미세하게 해야 할 필요가 있다. 레이저의 파장을 λ , 대물렌즈의 개구수를 NA라고 하면 광 Spot의 지름 d는 다음과 같다.

$$d \propto \frac{\lambda}{NA}$$

따라서 파장 650nm, NA 0.6의 DVD의 광 Spot 지름은, 파장 780nm, NA 0.45의 CD의 광 Spot 지름의 약 63%

정도로 미세해 졌다. 한편 디스크의 광 입사면에 대한 수직선과 광축(optical axis)과의 불일치에 따라 발생하는 콤파 수차(coma aberration)를 규제하기 위한 경사허용량(tilt allowance)은 다음과 같다.

$$\text{경사허용량} \propto \frac{\lambda}{NA^3}$$

표 2. 재생전용 DVD의 주요 물리사항.

Items	Single layer		Double layer	
	12cm	8cm	12cm	8cm
User data capacity	4.7GB	1.4GB	8.5GB	2.6GB
Minimum pit length	0.4 μm		0.44 μm	
Data bit length	0.267 μm		0.293 μm	
Channel bit length	0.133 μm		0.147 μm	
Track pitch	0.74 μm			
Recording modulation	8/16 modulation			
Sector size	2,048 Byte			
Error correction code	Read Solomon Product Code			
ECC constraint length	16 sectors (32 KB)			
Disc center hole dia.	15mm			
Disc thickness	0.6 \times 2mm			
Wavelength of laser	650/635nm			
NA of objective lens	0.6			

즉 기판의 두께가 같을 경우, DVD의 경사허용량은 CD에 비해 약 1/2.8배로 되어 디스크 경사 및 광 Pick-up의 광축 경사를 더 엄밀히 규제해야 한다. 이것을 완화시키고 디스크와 광 Pick-up의 구조를 용이하게 하기 위하여, DVD에서는 기판의 두께를 CD의 반인 0.6mm로 하고 있다. 그림 4는 DVD 디스크의 구조와 종류를 나타내고 있다.

DVD는 두께 0.6mm의 기판 2장을 접합하여 1장의 디스크로 하는 접합구조를 갖고 있다. 접합구조는 상하 대칭형상이기 때문에 디스크의 형상왜곡이 작고, 온도 등의 환경 변화에도 뒤틀림 등에 강한 구조적인 특징을 갖고 있으며, 양면 모두 정보를 저장할 수 있어 1장의 디스크에 2배의 저장용량을 확보할 수 있다. 또한 전체 두께가 1.2mm로 CD 디스크의 두께와 같아 CD와 하위 호환성을 갖는 드라이브 설계가 용이하다. 디스크의 유형은 한쪽 기판에만 신호층을 갖게 한 4.7GB의 1층 편면 디스크, 이 편면에 2층의 신호층을 갖는 8.5GB의 2층 편면 디스크, 양면 기판에 신호층을 갖는 9.4GB의 1층 양면 디스크, 17GB의 2층 양면 디스크 등이 있다.

3.2. 기록 규격

재생전용 DVD 규격은 반복기록용(rewritable)인 DVD-RAM, 일회기록용(write-once)인 DVD-R 등의 기록규격으로 확장되었다. 이 규격들은 정보 산업계의 요구와

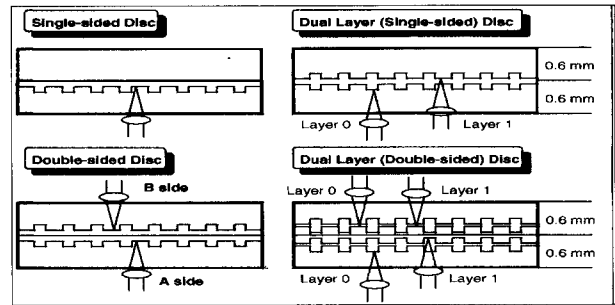


그림 4. DVD 디스크의 구조와 종류

DVD Family 간의 호환성 유지를 충분히 고려하여 제정되었다. 본 절에서는 상변화 기록 방식의 원리와 DVD-RAM 규격의 고밀도화를 가능하게 한 Land-groove 기록 방식과 마크끝단기록(mark edge recording) 방식에 대하여 알아보려고 한다.

DVD-RAM의 주요 기술적 특징은 다음과 같다. 먼저 상변화 기록 방식의 원리를 살펴본다. 높은 파워의 짧은 펄스 폭(pulse width)의 레이저를 조사하면 기록막은 용융되어 원자배열이 무질서한 액체상태로 되고, 급랭시키면 이 상태로 동결되어 비정질(amorphous)상태로 된다. 낮은 파워의 긴 펄스 폭으로 조사하면 재료의 결정화 온도(crystallizing temperature)를 초과하여 원자가 규칙적으로 배열된 결정질(crystalline)상태로 된다. 비정질상이 기록된 상태이며 기록마크(recording mark)라고 불리우며, 결정질상은 소거상태이다. 재생은 이 두 상태의 반사도 차이를 검출하여 정보를 읽어 들인다. 레이저 파워는 기록막을 비정질화시키는 높은 파워(write power), 결정질화시키는 낮은 파워(bias power), 재생파워(read power)의 3단계로 변조되어(LPM : Laser Power Modulation) 신호를 기록, 소거, 재생한다. 기록막의 비정질화, 결정화는 선행 기록상태와는 관계없이 온도의 고저에 따라 결정되기 때문에 선행 기록마크의 소거와 동시에 새로운 기록마크를 기록하는 덮어쓰기(overwrite)가 가능하다. 이 상변환의 가역반응은 재료적인 측면으로 반복 회수의 한계가 있으며, 현재는 약 10만회의 반복기록이 가능하다.

Land-groove 기록 방식은 그림 5에 나타낸 바와 같이 인접 트랙간의 Cross Talk을 최소화시켜 고밀도 기록을 가능하게 하였다. 종래의 Land(혹은 Groove) 기록 방식에 비하여 이상적으로는 2배의 기록용량이 가능하지만 기록시의 열 문제 등으로 1.2에서 1.5배 정도의 고밀도화를 달성하였다. 인접 트랙으로부터의 Cross Talk은 Groove 깊이를 조절하여 최소화시키는 것이 가능하며, DVD-RAM의 Groove는 60nm에서 70nm 정도의 깊이를 갖고

있다[4].

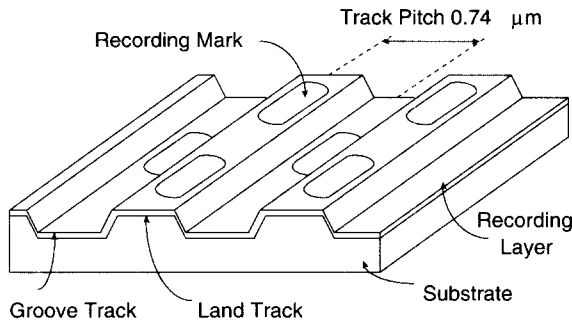


그림 5. Land-groove 기록 방식.

DVD-RAM 규격에서 채용하고 있는 마크끝단기록 방식은 재생신호에서 기록마크의 끝단을 검출하는 방식으로 마크의 길이에 정보를 기록하기 때문에, 마크 간격을 상대적으로 길게 할 수 있어 기존의 마크중심에 정보를 기록하는 마크위치기록(mark position recording) 방식에 비하여 기록선밀도(recording linear density)를 향상시킬 수 있다. 그러나 마크끝단기록 방식은 기록마크의 끝단을 명확히 제어해야 하므로 물리적으로 마크끝단의 온도분포를 기록레이저펄스로 정확히 제어(LPC : Laser Pulse Control)하는 것이 기술적 과제이다.

한편, 기록용 디스크의 신뢰성 향상을 고려하여, 지문이나 먼지 등 외부 오염으로부터 디스크를 보호하고 기판의 스크래치 등을 방지하기 위하여 Case를 채용하고 있다. 크기는 135.5mm(D) × 124.6mm(W) × 8mm(H)이다.

4. 기술 동향 및 과제

DVD는 초기에 동화상 저장규격으로 출발하여 다양한 응용분야로 영역을 확장해 가고 있다. 현재의 SD(Standard Definition)급 화질은 4.7GB의 현재 규격으로 저장이 가능하지만, 향후 HD(High Definition)급, UD(Ultra Definition)급 등으로 화질의 해상도(resolution)가 높아지면 DVD의 저장용량도 각각 15GB, 50GB 정도로 향상되어야 대응이 가능할 것으로 예상된다. 이 저장용량 증가의 기술적 실현은 각각 약 5년 전후의 기간이 소요될 것으로 보여진다. 즉 10여 년 후에는 50GB급의 재생전용 DVD 규격이 실현될 것이라는 예상이다. 또 반복기록용 규격인 DVD-RAM은 이보다 약 2,3년 정도 늦게 실현될 것으로 예상된다. 현재 4.7GB/side의 기록용량을 목표로 Ver.2.0의 DVD-RAM 규격 제정이 진행중이며, 1998년 9월에 최종 규격을 확정할 예정이다.

광디스크 저장기술의 발전 추이는 고밀도화(대용량화), 고배속화(전송속도 고속화), 고속 액세스(fast access)기술 등으로 요약할 수 있다. 고밀도화를 달성하기 위하여 재생 레이저의 단파장화, Format 효율 향상, 대물렌즈의 고NA화, PRML(Partial Response Maximum Likelihood) 등

의 새로운 재생신호처리 방식의 도입이 필수적이다. 단파장 LD의 경우, 현재 600nm 대의 적색 레이저에서 400nm 대의 청색 레이저의 도입이 모색되고 있다. 최근 실온에서 3,000시간 연속발전(CWO : Constant Wave Oscillation)을 달성한 GaN계 청색 LD(Blue Laser Diode)가 유력하며, 단파장화에 따른 디스크 경사허용량 감소를 해결하기 위하여 Tilt Servo 기술이 필요하게 된다[5].

고밀도화와 관련된 시스템 분야의 기술과제를 살펴보면, 단파장 레이저의 채용에 따라 초점심도(depth of focus)가 감소하고, 면밀도 증가에 따라 트랙밀도(track density)가 증가하게 된다. 이에 따라 초점방향 및 트랙방향의 위치제어계의 정상상태허용오차(allowable steady state error)가 감소해야 한다. 현재 DVD 규격의 초점방향 허용오차는 $\pm 0.23 \mu\text{m}$, 트랙방향은 $\pm 0.022 \mu\text{m}$ 정도의 제어정밀도를 가지고 있다. 이 기술과제를 해결하기 위하여 서보루프(servo loop)의 Gain 확보 및 밴드 폭(bandwidth) 확대 등이 요구되며, 기록밀도의 증가에 따라, 그동안 허용되었던 다양한 종류의 기계적 진동이 초점/트랙 방향 위치제어에 무시할 수 없는 오차를 초래하게 된다. 이러한 진동성분들을 살펴보면 디스크의 형상 오차에 따른 면진, 편심(eccentricity)에 의한 진동, 스핀들 모터의 회전진동 등 회전속도의 상수배로 반복되는 진동(RRO : Repeatable Run Out)과 회전 디스크/스핀들계의 진동모드, 스핀들 베어링의 결합에 따른 진동, Mechanism Assembly의 공진 등 비반복적인 진동(NRRO : Non Repeatable Run Out)이 있다[6,7]. 가진원(excitation source)으로는 기기 외부 진동과 충격, 회전 디스크 주위의 공기의 흐름에 의한 가진 등이 있다.

Seek Time은 광디스크 기기의 중요한 성능인자의 하나이다. 고속 Seek 동작은 연한 스프링으로 지지된 대물렌즈에 관성력에 의한 잔류진동(residual vibration)을 유발시키고, 이 잔류진동이 Seek 동작 끝 부분의 미세 트래킹(fine tracking)을 지연시켜 결과적으로 Seek Time을 증가시킨다. 대물렌즈의 잔류진동을 최소화시켜 고속 Seek 성능을 개선하기 위하여 Seek Servo계에 속도 Feedback 및 가속도 Feedforward 병용 제어, 속도관찰자(velocity observer) 등의 새로운 제어 알고리즘을 적용한 다수의 연구가 보고되고 있다[8,9,10].

5. 결론

본 고에서는 정보저장 규격의 하나로 DVD를 소개하였으며, 향후의 기술동향과 그에 따른 기술 발전의 추이를 논의하였다. 광디스크 정보저장기술의 발전은 고밀도화와 고배속 전송속도를 추구하는 것으로 요약할 수 있다. 이동매체(removable media)는 HDD(Hard Disk Drive)와 같은 고정매체(fixed media)와 달리, 매체간의 호환성 유지가 시장 보급의 가장 중요한 관건이기 때문에 개발된 모든 기술이 실질적 표준 규격(de facto standard)을

통해서만 시장에 진입이 가능하다. 즉 표준 규격으로 채택되지 못한 기술은 기술적 우수성에 관계없이 사장될 수밖에 없다. 표준 규격으로 채택된 기술만이 상품화로 이어지고 수익을 창출할 수 있다. 현재 DVD-Video의 지적 재산권료는 Player 가격의 약 15% 이상일 것으로 예상되며, 이는 규격에 아무런 지적 재산권도 갖지 못한 업체의 DVD Player 사업은 전혀 수익성을 기대하기 어려운 정도이다.

일본의 광 기록/재생 기기 관련 선진업체들은 향후의 차세대 규격에 자신의 기술을 반영시키기 위한 활동에 사활을 걸고 있으며 주요 핵심기술에 대해서 기술이전을 회피하고 있는 이유가 바로 여기에 있다. 국내 업체들의 동향은 현재의 CD-ROM 드라이브 사업의 수익을 차세대 규격에 등록시킬 수 있는 원천기술 개발에 투입하고 있으나, 개발인력이나 투입 자원의 한계 등으로 많은 어려움을 겪고 있는 상황이다.

본 고에서 언급되었듯이 정보저장기술은 다양한 분야의 기술들이 종합되어 실현이 되는 속성을 갖고 있으며, 광학기술, 광디스크 제조기술, 신호처리기술 등의 원천기술뿐 아니라 정밀 액추에이터(actuator) 설계기술, 정밀 Mechatronics 기술 등의 고밀도 광 기록/재생 기기 시스템 구현에 필요한 핵심기술도 중요한 연구 과제로, 산업체뿐 아니라 학계 등의 이 분야에 대한 많은 관심과 좋은 연구결과를 기대한다.

참고문헌

- [1] Alan B. Marchant, Optical Recording : A Technical Overview, Addison-Wesley, 1990.
- [2] H. Yamada, "DVD technology development and overview," Proc. International Conference on Micromechanics for Information and Precision Equipment, pp. 505-508, 1997.
- [3] M. Moriya and T. Tokura, "Outline of DVD standard," National Technical Report, vol. 42, no. 3, pp. 223-229, June, 1997.
- [4] H. Satoh and K. Suzuki, "Summary of DVD-RAM specifications," Toshiba Review, vol. 53, no. 2, pp. 5-8, 1998.
- [5] T. Sugawa, "World wide DVD market : Grown to over 10 trillion yen after ten years," Toshiba Review, vol. 53, no. 2, pp. 2-4, 1998.
- [6] G. Bouchard, L. Lau and F. E. Talke, "An investigation of non-repeatable spindle runout," IEEE Transactions on Magnetics, vol. 23, no. 5, pp. 3687-3689, 1987.
- [7] W. O. Richter and F. E. Talke, "Nonrepeatable radial and axial runout of 5 1/4" disk drive spindles," IEEE Transactions on Magnetics, vol. 24, no. 6, 1988.
- [8] Peter H. Meckl and K. Kudo, "Input shaping technique to reduce vibration for disk-drive heads," Advances in Information Storage Systems, vol. 5, pp. 45-48, 1993.
- [9] M. Ogawa, Y. Nakajima, K. Koyanagi and T. Furu-kawa, "Rapid-access system for optical disk drive using feedforward brake pulse," Japan Journal of Applied Physics, vol. 23, pp. 5376-5380, 1993.
- [10] M. Ogawa, O. Ito, K. Nakatsu, S. Hayashi, I. Watanabe and K. Tanaka, "Fast access method of optical disk memory." Proc. SPIE, no. 817, pp. 17-23, 1987.