

DVD 기술



송 태 선



김 진 용

멀티미디어연구소, LG전자 멀티미디어연구소, LG전자

1. DVD란?

1.1 DVD장치 및 필요성

우리가 일반적으로 광Disc장치라 하면 우선 CD(Compact Disc) 혹은 CD-ROM을 떠올릴 것이다. 이런 광Disc장치는 1980년에 개발되어 CD방식의 디지털 오디오가 탄생된 이래, 다양한 정보 기록매체로서 연구 및 사용이 진행되어 왔다. 개발초기에는 상기의 광 Disc군은

- Portability
- Large Capacity + Removability
- Anti-Dust

등의 장점을 갖는 것으로 부각된 반면, 그 당시로서는 Digital Data의 기록매체로서는 그 방대한 용량이 과연 어떤 용도로 사용될 수 있을지에 대한 문제 제기와 효용성에 대한 의문도 많았다. 또한, 그와 더불어 단점으로는

- High Price of the set
- Low Speed

등을 들고 있었으나, DVD란 새로운 매체가 개발상용화된 현 시점에서는 기술의 발전 또는 기타 환경의 변화로 인하여 위의 개념은 수정되지 않으면 안되게 되었다.

즉, 자기 기록장치의 대용량화가 예상을 훨씬 넘는 빠른 속도로 진행되었기 때문에, 대용량이란 현재로서 더 이상 장점으로 주장할 수 없게 되었을 뿐만 아니라, 가격이 비싸서 일반인에게 부담이 되는 시대도 이미 지난듯하다.

CD가 처음 소개되었을 때와 DVD가 도입되기 시작한 현재를 비교해 이런 면에서 이와 관련된 기술수준의 발전에 대하여 표 1에 정리해 보았다.

한편, 응용분야에서 주목할 환경의 변화는 AV분야에서는 Analog AV 및 Analog Record가 Digital로 변화한 상황을 Computer분야에서는 Macintosh, Unix, OS/2, Windows 등 GUI환경

표 1. 기술발전비교표

항 목	1982. CD 탄생년도	1997년도(현재)
CPU	16bit/6MHz	64bit/200MHz
Modem	300bps	33,600bps
DRAM	64kbit	32Mbit
Hard Disk	20MB	3.5GB
Floppy Disk	1.44MB	120MB
OS	CP/M, MS-DOS	WIN95
Internet	?	
Laser Diode	5mW, 780nm	5mW, 635nm

의 변화를 들 수 있다. 이런 환경에서 AV와 Computer의 경계가 없어지는 Multimedia로 진행과 그에 따른 통신분야의 발달을 들 수 있다.

CD(Compact Disc)가 세상에 출하된지 15년여가 지났고 음악용은 물론 Digital Data의 Storage Media로서 확고한 위치를 차지하고 있지만 Multimedia시대를 맞이하여 CD의 한계도 명백히 나타나고 있다. 여기서 등장한 것이 DVD이다. 1996년 규격합의가 된 DVD는 당초 디지털화된 영상신호를 기록하는 것을 중요한 목적으로 생각하여 편면 4.7G Byte인 기억용량을 CD와 동일한 직경 12 cm인 Disc에 저장할 수 있도록 규격화되었다.

DVD는 video 및 멀티미디어 응용에 있어서 계속되는 기억용량 증가 및 성능 향상의 요망이 원동력이 되어, 이와 같은 새로운 세대에 기반을 두되, 한편 기존의 CD와도 어느 정도의 호환성을 유지하는 장치로서 등장했다.

DVD는 Digital Versatile Disc를 나타내는 약자로서, Multimedia시대에 걸맞게 대형 컴퓨터 회사, 가전회사 및 entertainment companies로 구성된 조합에 의해 제안되고, 합의된 규격으로서 소프트웨어와 장치를 포함하는 개념이다.

또한, DVD 규격은 물리적 Layer 및 File System 및 응용분야에 따라 다음과 같은 종류로 나누어져 있다.

- Book A, DVD-ROM
- Book B, DVD-Video
- Book C, DVD-Audio
- Book D, DVD-WO (Write Once)
- Book E, DVD-E (Erasable or re-writable)

가장 기본적인 규격 Layer인 물리규격은 Book A에 주로 규정되어 있으며, Disc에 기록된 Pit의 형태(Read-Out신호 크기로 규정), Track Pitch, Disc의 물리적 형상등을 규정하고 있다.

DVD의 응용에는 Video, Audio와 ROM을 들 수 있으며, 이런 3종류의 Disc에는 동일한 물리적 규격과 file구조를 갖도록 되어 있다.

그러면, DVD에 관련된 기본사항을 간단하게 살펴보자.

직경 120 mm Disc의 단층 한면의 용량은 4.7GB로 규정되어 있다. 이 기록용량은 평균 3.5Mbps 전송율의 MPEG2 video와 3개국 언어로 AC-3 5.1 channel audio를 130분 정도 저장할 수 있는 규모이다. 한편 기존의 CD와는 달리 0.6 mm 두께의 기판 두개를 서로 접합하여 양면에 모두 data를 저장할 수 있는 option도 제공하며, 접합후 Disc두께는 기존의 CD와 같이 1.2 mm로 물리적 두께 호환을 이루었다.

또한 기존의 CD와는 달리 second layer를 규정하여 120mm (5 inch) dual layer disc를 정의하고 있으며 이 때 면당 8.5GB를 저장할 수 있도록 하고 있다. 한편 양면 Disc도 규격화 되어 있으며, 단층 양면의 경우 9.4GB, 이중 양면의 경우 17GB까지 용량을 늘일 수 있다. Disc의 종류는 그림 1에 보인다. 또한 80 mm(3 inch) dual layer disc는 면당 2.6GB의 용량을 갖도록 하고 있다.

한편 DVD장치의 통상 전송속도는 3.5~4.0 m/sec 로서 2째층에서는 약간 빠르게 되도록 되어 있다. 이 속도는 기존 CD의 약 3배에 해당하는 속도이다. DVD장치를 응용하는 경우의 통상 전송속도는 10.08Mbps/sec로서 약 CD의 약 7~8배에 상당한다. 이를 요약하면 표 2와 같다.

- 단면 단층 구조 4.7 GByte
Single-Layer / Single-Sided
- 단면 복층 구조 8.5 GByte
Double-Layer / Single-Sided
- 양면 단층 구조 9.4 GByte
Single-Layer / Double-Sided
- 양면 복층 구조 17 GByte
Double-Layer / Double-Sided

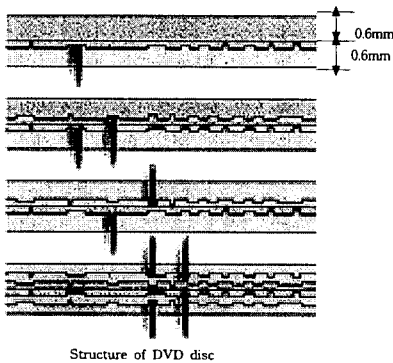


그림 1. DVD Disc 종류.

표 2. DVD/CD의 규격비교

	CD	DVD
Disc structure	Single substrate	Two bonded 0.6mm substrates
Data layers	1	1 or 2
Data capacity	Aprox. 680megabytes	Single layer:4.7GB Dual layers:8.5GB
Reference user data rate	Mode 1:153.6kbytes/sec Mode 2:176.4kbytes/sec	1,108kbytes/sec, nominal
Video Format	Video CD	DVD-Video
Video data rate	1.44Mbps/sec (video, audio)	1 to 10Mbps/sec variable (video, audio, subtitles)
Video compression	MPEG1	MPEG2
Sound tracks	2 Channel-MPEG	Mandatory (NTSC): 2-channel linear PCM; 2-channel/5.1-channel AC-3, up to 8 streams of data available
Optional		
Subtitles	Open caption only	Up to 32 languages

1.2 광Disc장치로서의 DVD/DVD-ROM과 CD/CD-ROM

광Disc장치로서 현재 사용되고 있는 것은

- Read-Only Disc
- Write-Once Read-Many Disc
- Rewritable Disc

로 대별할 수 있다. 이 중 Read-Only형인 CD-ROM Drive가 최근 4~5년간 많이 보급되었다. 그 이유는 software의 대량배포가 용이하기 때문이며, 근래에는 일회기록용인 CD-R로 응용범위가 확대되고 있다. 표 3에 Disc별 재생/기록 원리를 정리해 보았다. 사실 이러한 Drive system에서, 광학부품이라고 해도 렌즈 몇개 및 Laser Diode 몇개 등에 불과한데, 광Disc장치라고 불리는 이유를 생각해 본다.

이는 장치의 규격 중 가장 중요한 요소가 광학적인 기본원리

표 3. Disc 종류별 재생/기록 원리

항 목	종 류	재생원리/기록원리
재생전용	CD	회절
	DVD	
	LD	
1회기록용	CD-R	회절
	DVD-R	
재기록용	CD-R/W	회절/상변화에 따른 반사광량차
	PD	
	DVD-RAM	
	MD	
	ASMO	편광/열자기

표 4. DVD와 CD의 비교

	Units	DVD	CD
Outer diameter	mm	120	120
Thickness of substrate	mm	0.6	1.2
Track pitch	μm	0.74	1.6
Min. pit length	μm	0.40 SL 0.44 DL	0.834-0.97
Wavelength	nm	650	780
대물렌즈의 개구수	N.A.	0.60	0.45
Error correction code	N/A	RS Product	RS 8-bit code
Error correction overhead	%	13	25
Data capacity	GB	4.7, 8.5, 9.4, or 17	0.65(CD-ROM) 0.80(CD Music)
Channel modulation	N/A	8/16	8/17
Data bit rate(1X)	Mbit/sec	11.08	1.44
Reference scanning velocity	m/sec	3.49 SL 3.84 DL	1.2 to 1.4
Reflectivity	%	70min SL 25 to 40 DL	70min
Dual Layer의 층간 간격	μm	40-70	N/A
Spot size 비	λ/NA	0.63	1
Focus Depth(Focus Margin) 비	λ/NA^2	0.47	1
Comatic Aberration(Title Margin) 비	λ/NA^3	0.35 0.70	1
구면수차(Thickness Tolerance) 비	λ/NA^4	0.26	1

를 적용하여 결정된다는 것에 기인한다고 볼 수 있다. 현재 이런 광학적 기술은 안정되어 있어서 이런 규격을 결정하는데 별로 어려움을 느끼지 않을 수 있다.

그러면 광학적 규격 중에서 장치의 전체적 성능을 좌우하는 것은 무엇인가?

- 사용광원의 파장
- 대물렌즈의 개구수(Numerical Aperture)

상기 2개의 항은 기록밀도 및 재생성을 결정하는 기본요 소이기 때문에, 90년대 초,중반까지 적색Laser와 고 NA를 사용한 System 제안들이 많이 발표되어 왔으며 광학초해상 등을 추가하여 기록밀도를 높이는 노력도 있어 왔다. 한편, CD에 비하여 DVD의 경우 파장 및 NA 등을 고려한 단순계산상의 기록밀도는 2.6배에 불과하나 전자회로 기술의 발전으로, 인접 트랙crossstalk 및 신호 간 간섭 등의 배제, ECC(Error Correction Code)성능강화, 생산기술 발달에 의한 margin 증가로 S/N비 허용 level저감 등의 요인이 종합되어 약 6~7배에 해당하는 방대한 저장량을 가진 매체로 발전하게 된 것이다.

그러나 기본적인 재생방법 및 원리란 면에서 CD와 DVD는 동일한 재생방법에 의하여 구현된다고 할 수 있으며, 또한 기존에 CD관련 Software가 방대하므로 이에 대한 호환성을 고

려하여 크기, 두께 등을 결정하였다.

2. DVD의 기술분야

CD 대비 고밀도인 DVD의 탄생을 가능하게한 가장 중요한 전기는 적색파장 Laser Diode의 상용화라고 할 수 있다. 이와 더불어 Disc를 제조하는 mastering 및 성형기술의 발전과, MPEG2 등 각종 신호처리 기술 등이 일조를 하여 현재의 DVD가 탄생했다.

이런 기술이 적용된 주요한 부품을 보면 (1) 광 Pick-Up (2) Disc (3) IC 로 크게 분류할 수 있으며, 이런 핵심부품과 함께 기존의 CD와의 호환성을 확보하기 위한 기술을 살펴보면, 이런 기술들이 어떤 상호연관 관계를 갖는지 살펴보도록 한다.

2.1 광PickUp기술

재생전용 광 Pick-Up은 광원(Laser 광)을 광학적 수단(대물렌즈)에 의하여 정보가 기록된 광Disc의 정보pit에 무수차 결상 시켜, 정보pit에 의해 반사, 회절되는 광을 전기적인 신호로 바꾸는 장치의 총칭이다.

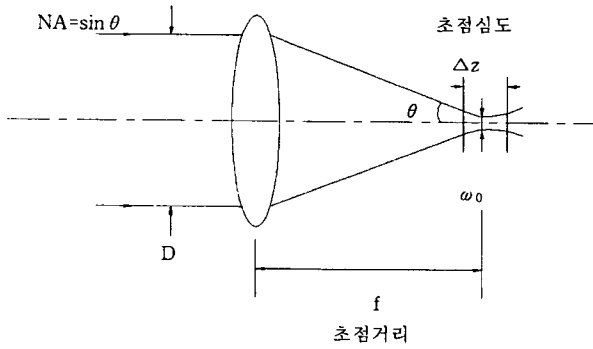


그림 2. 대물렌즈에 의한 빔 집광.

따라서 대물렌즈 등에 의해 집속될 때 집광Spot의 크기가 재
생할 수 있는 광Disc의 기록밀도를 결정한다고 할 수 있다.

그런데, 집광Spot의 크기 d는 Laser파장에 비례하고, Lens의
개구수 NA에 반비례한다. 여기에서 NA는 그림 2와 같이
Disc 집광점에서의 광 속의 교차 각도를 말한다. 파장과 NA와
의 관계에서 미소 Spot을 얻는데는 Laser의 단파장화와 Lens
의 고 NA화가 유효하다.

2.1.1 반도체 Laser Diode

DVD의 제안은, 지금까지 논한 것과 같이 세상의 요청에 따
라, 대용량인 Storage Device를 실현하기 위해서이지만, 이 진
보를 유지시키는 요소기술로 가장 크게 기여하는 것은 반도체
Laser Diode이다.

광 Disc에서는 Laser광을 Lens로 집광하여, Disc상의 미세
한 pit를 읽어 내지만, 원리적으로는 이 Disc상의 Spot Size의
약 반의 크기인 pit까지는 읽어 낼 수 있다. Laser의 파장과
Lens의 NA로 Spot Size는 정해지기 때문에 단파장 Laser를 사
용함으로써 기록밀도를 올릴 수 있다.

그러나, 상기와 같은 Laser Diode가 모두 광Disc장치에 사용
할 수 있는 것은 아니다. 광Disc장치에 사용하기 위해서는

- 고 S/N비
- 작은 비점수차특성
- 열적인 안정성 및 수명
- 저가격
- 발전파장
- 광출력
- Pin의 배치
- Off-axis Angle
- Far field pattern 방사각
- 전광변환 효율과 발전문턱치 전류
- Noise와 Ripple
- 발전모드

등 많은 문제를 고려하여야 한다. 그런데, 그중에서 광학적
인 특성인 비점수차특성에 대하여 살펴보면, 이는 집속되는
Spot의 크기와 질을 결정하는 것으로서, 비점수차란 광 Pick-
Up의 설계에서 매우 중요한 특성이라고 할 수 있다.

Laser Diode의 비점수차는 Laser Diode의 발광위치가 jun-
ction과 평행한 성분과 수직인 성분간의 위치차가 발생하는 일
종의 광학적 오차라고 할 수 있다. 이 양의 크기를 Δz 라 둘
때, 광학적 경로차(Optical Path difference = OPD)는

$$OPD(PV) = \frac{1}{2} \Delta z (NA)^2$$

가 되며(PV: peak to valley), 이를 다시 계산하면 RMS wave-
front error(WFE),

$$WFE_{rms} = \frac{OPD(PV)}{2\sqrt{6}} = \frac{NA^2 \Delta z}{4\sqrt{6}}$$

을 얻을 수 있다.

따라서 Collimating하는 Lens의 NA값의 제곱에 비례하여
WFE는 커짐을 알 수 있다. 그러나, NA값을 줄이면 coupling되
는 광량이 줄어들며 보다 고출력의 Laser Diode가 요구된다.
특히 고출력이 요구되는 기록 장치에서는 더욱 중요시 되는
Factor이다.

또한 이와 더불어 Noise의 저감을 위해 Self-Pulsation 특성
이 요구되나 그것이 불가능한 경우에는 주입전류를 고주파 변
조하는 HF Modulation 방법으로 Noise 특성을 개선하기도 한
다. 특히, 적색 파장 대역의 Laser Diode의 경우, 요구되는 동
작 온도 범위(case 온도 70°C)내에서 self-pulsation 특성을 유지
하는 device를 안정적으로 생산하기에는 아직 문제점이 많은
것으로 알려져 있다.

또한 Laser Diode의 발산각 및 Far Field Pattern의 방사각 제
어가 기존의 CD에 비하여 더 중요하게 요구되는 것은 기존의
CD의 경우는 3Beam Tracking이 사용되었으나, CD와의 호환
성 등을 이유로 하여 1Beam법 Tracking이 주로 채택되므로 보
다 중요한 변수로 작용하게 됨과 동시에, 적색 파장대 LD의
방사각이 상대적으로 좁아, 집광 spot의 크기가 커지는 효과가
있기 때문이다.

2.1.2 DVD용 광 Pick-Up

광 Disc에서 광 Pick-Up의 기능을 살펴보면 Laser Diode에서
발광된 Laser광은 collimator lens를 거쳐 대물렌즈에 입사되고,
대물렌즈에 입사된 광은 광 Disc에 무수차 결상된다. CD,
DVD의 재생전용 Disk에는 Pit라고 하는 요철에 의하여 정보
가 기록 되어 있다. 그리고 이 Pit에 집광된 Laser광이 반사, 회

절된 후 다시 대물렌즈에 의해 집속되어 수광소자 photodiode에 이르게 된다. 이 수광소자에 의해 전기적 신호로 바뀌고 이후 원하는 digital 신호처리부를 거치게 된다.

대물렌즈가 기하광학적으로 무수차인 경우 상면에 있어서 spot의 반경 ω 는 다음 식으로 표시된다.

$$\omega = k \frac{\lambda}{NA}$$

여기서 k 는 렌즈의 개구 형상이나 입사광속의 강도분포에 의하여 결정되는 상수이고 NA 는 대물렌즈의 개구수이며, T 를 Truncation Factor라고 할 때, FWHM과 $1/e^2$ 되는 직경을 다음 식을 적용하여 얻을 수 있다.

$$k_{FWHM} = 0.25725 + \frac{0.178125}{(T - 0.2161)^{2.179}} - \frac{0.161125}{(T - 0.2161)^{2.221}}$$

$$k_{1/e^2} = 0.411225 + \frac{0.1615}{(T - 0.2816)^{1.821}} - \frac{0.1330}{(T - 0.2816)^{1.891}}$$

광 Pick-Up에 있어서 CD와 DVD의 광학계는 대물렌즈에 입사하는 광이 평행한 광선이나 아니냐로 유한계, 무한계로 분류하는데, 일반적으로 현재 대부분의 CD의 경우에는 대물렌즈에 입사하는 광선이 평행한 광선이 아닌 유한계인데 반하여, 현재의 DVD의 경우에는 무한계를 채용하고 있다. 물론 앞으로 고 NA에 대한 Lens의 양산 경험과 servo기술이 축적된 후, DVD의 경우도 유한계로 발전할 것으로 생각된다.

이런 대물렌즈를 통한 광학계에서 디스크의 광학적 특성을 고려한 광학적 성능이 무수차결상특성을 갖도록 하여야 한다.

따라서 Disc에 경사가 있는 경우나 두께가 설계 치와 다른 경우에는 수차가 생겨 1점에 집광 되지 않는다. Disc의 경사에 의하여 발생하는 수차는 평판 plate가 기울었을 경우가 되므로 Coma 수차가, Disc두께가 다름으로써 발생하는 수차는 구면 수차가 가장 지배적인 수차가 된다. Coma 수차는 NA의 3승에 비례하기 때문에 DVD용 광 Pick-Up에서는 경사에 대한 허용량이 CD용 광 Pick-Up의 1/2 이하로 된다. 그러나 Coma수차는 Disc의 두께에도 비례해서, DVD에서는 Disc기판의 두께를 CD의 1/2인 0.6 mm로 해서 경사 허용도를 확보하고 있다.

DVD나 CD Disc의 광학적 특성을 보면 기판은 굴절율 약 1.55의 Polycarbonate 수지로 만든다. 그리고 이 기판을 통해 Laser광을 집광시켜 기록 Pit를 읽게 되어 있다.

이 경우에 있어서, 기판의 두께 변화에 의한 tolerance의 경우에 있어서는 기판의 두께와 굴절율을 정확히 조정하는 생산

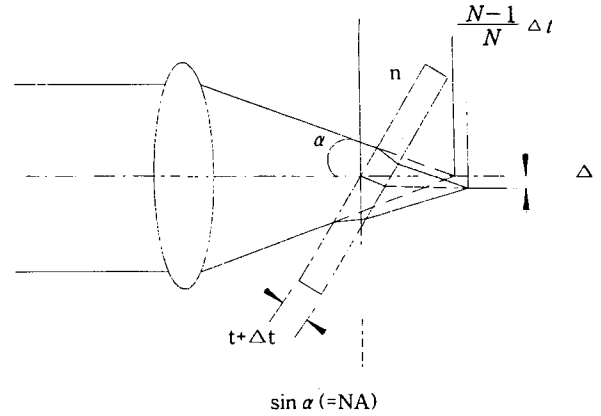


그림 3. Disc의 광학적 오차.

기술이 충분히 확보되어 있으나, 기구적 장착 및 회전시 발생하는 Disc경사에 대하여는 경사각을 어느 한계치 이하로 억제하는 생산기술이 충분히 확보되어 있지 못하다.

Coma 및 구면수차는

$$\text{Comatic Aberration(Tilt margin)} \propto \lambda / NA^3$$

$$\text{구면수차(Thickness Tolerance)} \propto \lambda / NA^4$$

로 주어진다.

예를 들어 Disc가 광축에 대하여 U_p 만큼 기울어져 있고, 수렴하는 광의 개구수가 $\sin \alpha$ 인 경우에 대하여, 다음의 주요한 두가지 수차를 고찰해 본다.

이 때 Disc의 두께 오차가 t 이고 굴절율은 N 이다.

$$\text{Focus shift량은 다음과 같이 구해진다. 즉 } f' = f + \frac{N-1}{N} t$$

또한 기울어졌을 경우에, 축의 Shift 량은

$$D = t \sin U_p \left(1 - \sqrt{\frac{1 - \sin^2 U_p}{N^2 - \sin^2 U_p}} \right)$$

구면수차는(Spherical Aberration)

$$L' - l' = \frac{t}{N} \left(1 - \frac{N \cos \alpha}{\sqrt{N^2 - \sin^2 \alpha}} \right) \approx -\frac{t(N^2 - 1)}{2N^3} \sin^2 \alpha \quad (3\text{차 근사})$$

로 주어지고

$$WFE = \frac{t}{8} \frac{n^2 - 1}{n^3} v_n^4 (NA)^4$$

또한 그와 더불어 굴절율에 의한 구면수차는

$$W_{40} = W_{40}(n + \Delta n) - W_{40}(n)$$

$$= \frac{t}{8} \frac{(NA)^4}{n^3} \left[-(n^2-3) \frac{\Delta n}{n} + (n^2-6) \left(\frac{\Delta n}{n} \right)^2 \right]$$

으로 되어 Disc의 굴절율오차와 두께오차의 각각에 의한 구면 수차의 합이 상쇄되는 조건은

$$W_{40d} + W_{40n} = 0$$

$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{n^3-3}{n^2-1} \cdot \frac{\Delta N}{N} - \frac{n^2-6}{n^2-1} \left(\frac{\Delta n}{N} \right)^2$$

이 된다.

따라서 굴절율에서의 변화는 substrate의 두께를 조정함으로써 상쇄할 수 있다. 참고로 DVD의 두께와 굴절율 허용범위는 그림 4와 같다. 그러나 현행 CD와 DVD의 두께차인 0.6 mm 인 경우 DVD용 Lens에서 CD를 재생 하려고 한 경우에 구면 수차가 크게 발생해 Lens의 중심을 통한 빛과 주변을 통한 빛 사이에서 초점 위치가 어긋나 1점에 집광 할 수 없게 된다.

현재 CD나 CD-ROM이 널리 보급된 것을 생각하면 DVD용의 재생 장치에서의 CD의 호환 재생 기능의 요구는 대단히 크다고 말할 수 있다. 기관 두께가 다른 DVD와 CD를 1대의 DVD용 재생 장치에서 재생하는 가장 용이한 방법은 DVD용과 CD용 2개의 광 Pick-Up을 사용하는 방법이다. 그러나 2대의 광 Pick-Up을 장치에 탑재하는 것은 Cost면과 기구가 복잡해지는 면에서 문제가 생긴다. 따라서 1대의 광 Pick-Up에 의하여 호환 재생을 실현하기 위해 구면 수차를 억제하는 방법이 필요하게 된다.

현재 1대의 광 Pick-Up에서 DVD와 CD의 2종류의 Disc를 재

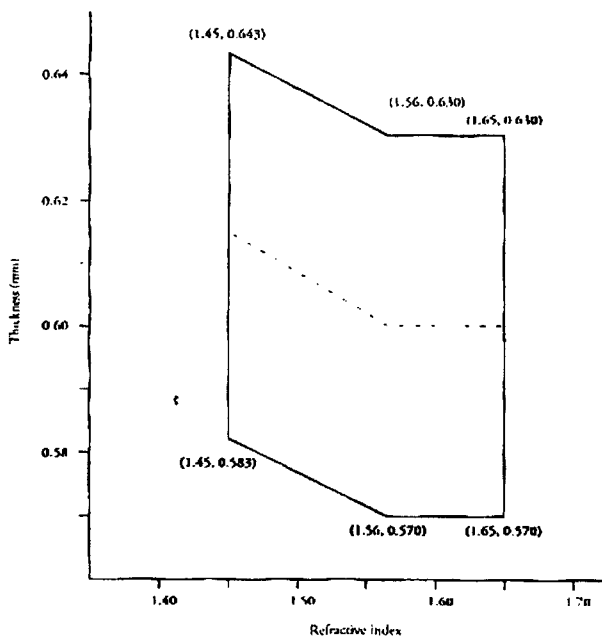


그림 4. DVD 기관 두께에 대한 허용 굴절율.

생 하는 방법으로서 (1) Lens 절환 방식, (2) 양초점 Lens 방식, (3) 액정 Shutter 방식등의 가변조리개 방식, (4) 환형차폐 방식 등 4방식이 제안되고 있다. 다음 절에서는 이러한 호환 재생 광 Pick-Up에 대해서 설명한다.

방 식	제안회사	비 고
Lens 절환방식	Sony	
양초점 방식	Matsushita	Hologram Lens를 사용
액정shutter방식	LG, Sanyo	LC Shutter로서 개구를 조정
환형차폐방식	Samsung	

또한 CD와 DVD를 호환하기 위하여 발생하는 문제로서 Servo를 빼놓을 수 없다. 이 가운데 Disc의 물리적인 Dimension차이 때문에 발생하는 것으로서 Tracking Servo의 경우 CD와 DVD의 경우 Track pitch가 다르므로 3Beam의 Track-Error검출방법으로는 문제가 발생할 수 밖에 없다. 1beam Tracking법은 Track Pitch 차에 대한 문제는 피할 수 있으나, Disc의 신뢰성 문제와 Disc의 Pitch Depth, Disc의 Tilt 등에 의한 문제 및 기타 신뢰성에 대한 문제를 극복하기 위한 연구가 진행되어 왔다.

또한 Focus제어의 경우 양초점방식에 있어서는 Actuator swing시 DVD의 focus error가 0인 경우와 CD의 focus error가 0인 경우가 동시에 나오기 때문에 이에 대한 값의 판별 방법은 장치의 설계 Flow에서 고려해야할 사항이다.

2.1.3 DVD Family와 CD Family의 호환

Lens 절환 방식 광 Pick-Up

Lens 절환 방식은 DVD용과 CD용의 2개의 대물 Lens를 이용해 Disc에 따라 사용하는 Lens를 바꾸는 방식이다. Lens 절환 방식에는 축접동형의 Actuator가 사용된다. 축접동형 광 Pick-Up은 Lens의 Holder부가 축에 대해 상하로 접동해서 Focusing추종을 행하고 좌우로 회전해서 Tracking추종을 행한다. 2개의 Lens를 준비한 Lens Holder의 지지축을 중심으로 회전시켜 Lens를 절환 한다. 절환은 Tracking용 큰 전류펄스를

Prototype of integrated two-lens switching system

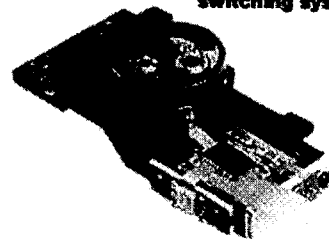


그림 5. Lens절환 방식 광 Pick-Up의 일례.

인가해 회전 운동을 크게 해서 실행한다.

현재 제안되는 Lens절환 방식 광 Pick-Up에서는 CD용 대물 Lens로서 NA 0.38정도의 Lens가 채용된다. Lens절환 방식에서는 재생 하는 Disc에 맞는 Lens를 선택하여 사용하므로 다른 방식과 비교할 때 Laser광의 이용 효율을 높게 할 수 있는 이점이 있다. 그러나 2개의 대물 Lens와 절환을 위한 기구가 필요하게 되는 단점이 있다.

2초점 Lens 방식

대물 Lens를 1개만 이용해 DVD와 CD의 양쪽을 재생 하는 방식의 하나이다. 2초점 Lens는 DVD용 Lens의 한쪽면에 Hologram을 형성해 Hologram에 의한 회절을 이용해 1개의 Lens에 의하여 DVD용의 초점과 CD용의 초점을 동시에 맺게 하는 것이다. Hologram에서의 회절에 의하여 Laser광의 중심 부분은 투과광과 회절광으로 나누어 진다. 투과광은 Lens 주변부를 통한 빛과 함께 0.6 mm 기판의 기록면에 초점을 맺는다. 또 회절광은 1.2 mm 기판의 기록면에 초점을 맺는다. 회절광에 의한 CD재생시에 있어서 구면 수차가 보정 되고 또 NA가 0.43정도로 될 수 있게 Hologram Pattern이 설계되고 있다. 2초점 Lens방식은 Lens절환 방식과 같은 Lens를 절환 하기 위한 특별한 기구가 없어서 광 Pick-Up의 소형화에 유효하다. 그러나 회절을 이용해 광속을 분할하므로 Laser광의 이용 효율이 저하되고 Lens와 Hologram을 일체 성형하므로 통상의 Lens와 비교해 Lens의 제작이 어려워지는 등의 단점이 있다.

액정 Shutter 방식 광 Pick-Up

대물 Lens를 1개만 이용해 호환 재생을 하는 또 하나의 방식이다. 액정 Shutter방식은 DVD용 대물 Lens에 입사하는 광의 개구 크기를 조절해서 CD를 호환 재생하는 방식이다. Disc두께가 다름으로 인해 발생하는 구면 수차는 NA의 4승에 비례하므로 Lens의 주변부를 통하는 빛을 차단해 NA를 작게하면

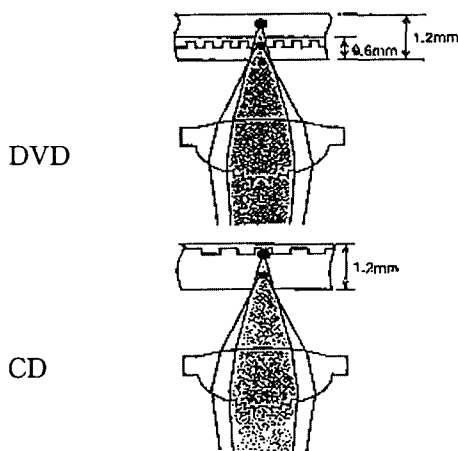


그림 6. 2 초점 Lens 방식.

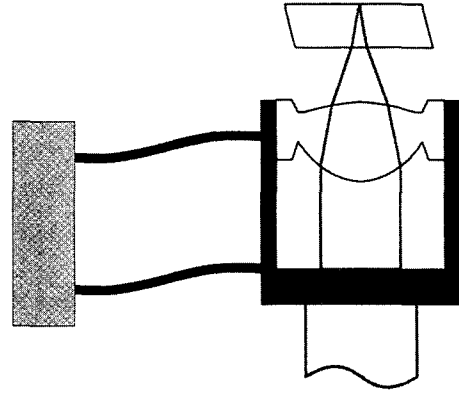


그림 7. 액정셔터방식.

1점에 집광 할 수 있게 된다.

NA가 작으면 구면 수차는 억제되지만 집광 Spot의 크기는 NA에 반비례해서, NA가 너무 작게 되면 Pick-Up의 재생 MTF 특성이 열화 된다. 광원에 파장 635 nm의 적색 반도체 Laser를 이용하는 경우 NA를 0.35정도로 하면 현행 CD Player용 광 Pick-Up(파장 780 nm, NA 0.45)과 같은 크기의 집광 Spot을 얻을 수 있고 수차도 실용상 문제없을 정도로 된다. 이와같이 DVD용 Lens를 이용해 NA를 0.6에서 0.35정도로 변화시켜서 두께 1.2 mm의 CD를 재생할 수 있게 한다. NA를 변화시키는 방법으로는 Camera의 조리개와 같이 기계적으로 변화시키는 방법이나 기계 Aperture를 절환하는 방법도 생각할 수 있으나 기계적인 방법에서는 위치 정밀도나 재현성, 신뢰성에 문제가 생길 가능성이 있으므로 기계적인 가동부를 이용하지 않는 방법이 액정 Shutter이다.

액정 Shutter방식 광 Pick-Up에는 편광 Type의 광학계와 TN (Twisted Nematic)형 액정이 사용되고 있다.

환형차폐방식

역시 대물 렌즈를 1개만 이용하는 방식으로, 대물렌즈의 일정 직경부위에 환형의 mask를 제작하여, 구면수차 영향을 극소화 하는 방법이다. 수차에 의한 Noise영향을 최소화하기

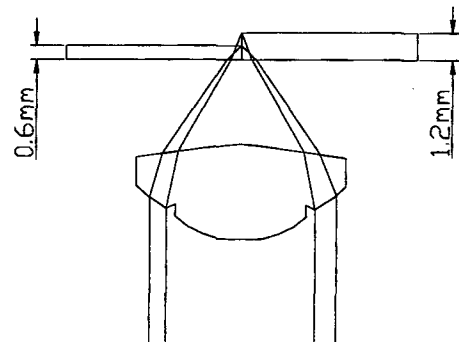


그림 8. 환형차폐방식.

Spectroscopic Characteristics of Indolenine-type Cyanine

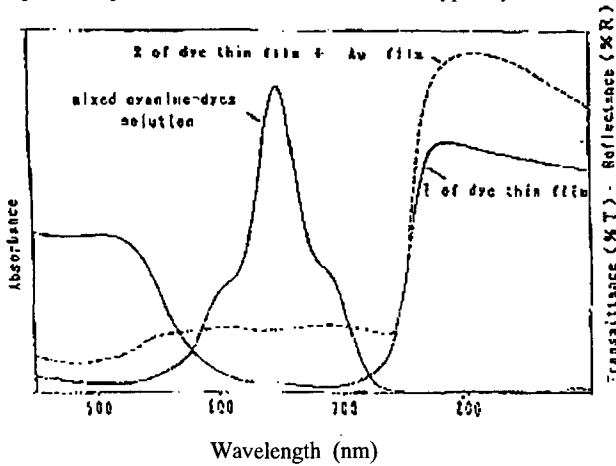


그림 9. CD-R Disc 광학특성.

위해서는 광 검출기와 Servo방법에 대해서도 함께 최적화를 하여야 하는 점은 있으나, low cost로 실용화 할 수 있는 우수한 방식이다.

2.1.4 CD-R과의 호환성

Dye polymer를 기록매질로 사용하는 CD-R은 DVD용 LD의 파장인 635~650 nm영역에서 반사율이 극히 미미한 값을 갖는다. 이를 해결하기 위해서도 몇 가지 방법이 시도되고 있다. 첫째는 Disc의 새로운 규격을 제정하여, 650 nm 영역에서도 반사율을 높이는 것을 들 수 있으며, 둘째는 현재의 경우를 그대로 인정하여, 광PickUp에서 해결하고자 하는 방법이다.

이에 대한 해결을 위해서는 광 Pick-Up에 650 nm대와 780 nm대의 Laser Diode 2개를 탑재하여야 한다. 요즘은 1개의 대물Lens을 채택하고 LC Shutter의 방법과 동일한 기술인 가변조리개 방식이 사용되어, 기판 두께에 의해 초래되는 수차를 보정하는 방식을 많이 사용한다.

2.2 광Disc

DVD의 기본규격은 현재의 광 Disc 제조기술의 한계에 가까운 기술을 결집한 것으로 되어 있다.

이에 대한 사항을 열거하면, 다음과 같다.

- 2층구조
- 2층기판의 압착결합등 제조공정
 1. mastering
 2. injection
 3. 접합
- 면진동량

• Disc의 Tilt

기록된 pit의 물리적인 크기가 작아지고, 허용오차가 작아진 만큼, mastering 및 injection 모두 고정밀도가 요구되고 있다. Mastering의 경우 사용 Laser의 파장을 UV영역까지 줄이는 시도도 일고 있다.

DVD의 경우 기존의 CD와는 달리 second layer를 규정하고 있어, 2층 Disc의 제작 방법은 표준CD의 금속 반사막 coating 방법과 달리 UV cured resins과 부분 반사 및 투과 특성을 갖는 재료를 사용하고 있다. 즉, 한 layer의 Data면에는 표준 반사물질로 Coating을 하고 다른 layer는 부분 투과물질로 Coating하고 또한 UV resin과 함께 기판을 압착하여 결합하는 것으로 CD와는 제조 방법상에 차이가 있으며 이런 방법은 현재로서는 상당히 고도의 기술을 요하지만 곧 이런 기술을 보편화될 수 있을 것으로 생각된다.

Disc 면진동량, 진동가속도, 접선, 반경 방향 Tilt량 등은 Disc 재생시 Servo특성을 결정하는 주요인자로서, DVD의 경우 CD의 경우보다 엄격히 규제되고 있다. 따라서 Injection 및 양면 접합시의 생산 기술력 측면에서의 개발이 계속 진행 중이다.

2.3 최적 Servo기술

광Disc장치에서 중요한 것은 광 Pick-Up에서 집속된 laser광이 정확하게 정보가 기록된 광 Disc의 정보 Pit상에 결상되는 것이다. 이 정보 Pit상에 정확하게 결상시키기 위하여, 광 Disc 장치에서는 광 Pick-Up을 통해 광축 방향의 Focus제어 및 Disc반경 방향의 Track제어를 행하고 있다.

현재 CD의 경우와 DVD의 경우 제어 기준의 표시방법에는 약간의 차이가 있지만 개념상으로는 별로 차이가 없고 정밀도에서는 3~4배 정도의 고정도가 요구된다.

광 Pick-Up의 제어계	Focus Servo(Axial Tracking) Track Servo(Radial Tracking)	기본특성
	Tilt Servo - 현재는 거의 하지 않음.	
광 Disc Deck Mechanism	Spindle Servo	기본특성을 확보하기 위함
	Sled Servo	
광 Disc 장치	Search Still	Utility (S/W)로 해결

또한 CD와 DVD를 공용으로 사용할 수 있도록 되어 있기 때문에 그에 따른 적절한 Servo Gain 함수를 고려해야 한다.

현재 Focus 제어에 있어서는 CD의 경우 $\lambda=650\text{ nm}$ 기준으로 $NA=0.4$, DVD의 경우 $NA=0.6$ 인 경우에 Focus Depth는 λ/NA^2 에 비례하므로 약 2배정도의 차가 발생하므로 이에 따른

보정을 고려할 수 있어야 system이 안정화 된다.

Tracking Servo에서는 기존의 3beam법과 Push-pull법의 난제를 극복한 DPD(Differential Phase Detection)법을 채용하여 Pit깊이가 $\lambda/4$ 인 경우도 track error검출이 가능하도록 하고 광검출기에서 beam이 움직여도 그 영향이 줄어들게 됐으며, 3beam에서와 같은 Track Pitch차에 의한 Track error신호의 Phase차 등에 의한 Tracking신호대의 부적절한 점을 보상하도록 하고 있으나, 현재는 CD와 DVD의 설계 기준과장이 다른 관계로 여러 가지가 혼용되거나, 또는 별도로 사용되고 있다.

2.4. IC 및 기타 신호처리 기술

2.4.1 변조, ECC, Sector Format

DVD에서 이용하고 있는 변조방식은 Block부호화로, Source Bit 8bit을 한데 모아, 16bit으로 변환하는 8~16변환이다. 이것은 CD에 이용하는 EFM(8~17변환)보다 6%쯤 효율이 좋고, DC억압 등의 성능은 같은 정도를 얻을 수 있다. 한편 오류정정은 Reed Solomon 적부호(積符號)고, CD에 비해 Run Time오류에 대해서는, Block Size가 32kB로 매우 커지기 때문에, 정정능력이 매우 높아, 정정전의 오류율은 0.1%의 시정정후(時訂正後)의 오류율은 10^{-15} 이하로 이대로 Computer용 Data Storage로서 사용할 수 있는 능력을 갖고 있다.

Sector Size는 2kB Sector Format이 되어 있다.

이 Sector Format은 RAM, -R과도 공통이고 같은 Drive로 Disc를 읽는 경우는 복조 이하의 신호처리 LSI를 공통으로 사용할 수 있는 이점이 있다.

2.4.2 MPEG2 Encoder, Decoder

DVD Video Format으로는 Storage Media로서는 처음으로 MPEG2의 가변전송 Rate 압축방식이 사용되었다. 전송 Rate가 빠를수록 재생화질은 좋아지지만, 재생시간이 줄어든다. 따라서, 한정된 재생시간내에, 평균 재생화질을 최적화하기 위해, 움직임이 빠르거나 복잡한 화면에는 빠른 전송 Rate를 배정하고, 움직임이 느리고 단순한 화면에는 느린 전송 Rate를 할당하는 가변방식을 채택하였다. Disc 원판을 제작하는 Authoring System에서는 이와 같이 최적 Encoding을 수행하기 위해 double path encoding을 적용한다. 앞으로 DVD-Recorder 등을 목표로 One-chip encoder도 개발이 진행되어 완료 단계에 있다. Decoder는 이미 각 사에서 상용 제품을 출하고 있다.

3. DVD의 응용분야

DVD에서는 Video Format 중에 Multiangle, Multistory, Paren-

tal Locked 등의 기능과 화면 Size를 16:9와 4:3으로 양방 선택할 수 있는 기능 등과 함께 이러한 풍부한 기능을 선택하기 위한 Menu 제공기능 및 CD-I에서 실현하고 있는 기능을 거의 모두 포함하고 있어 Interactive한 Software의 활용도 용이하다. 이것을 일반적인 영화용 DVD Player에서도 활용할 수 있는 특징이 있어, 앞으로 이 방면의 응용이 증대될 것으로 기대된다.

DVD는 Multimedia시대의 통일적인 Storage System으로 제안되었다. 요소기술의 Balance를 고려하고, 호환성 유지를 위한 공통 Format채용 등을 위한 노력을 통해, 앞으로의 Multimedia시대에 적합하도록 크게 신장될 것이 기대된다.

DVD의 필요성을 살펴보는 것은 뒤집어서 현재 각 업체가 어떤 용도의 DVD의 개발을 계획하고 있는지 살펴보고 이에 따른 환경을 살펴보는 것이 중요하다고 생각된다.

- DVD-ROM Drives
- Entertainment-Movies and Games
- Publications
- Digital Video Display System
- Car Navigation
- Filing System

4. 앞으로의 전개방향 및 과제

최근의 DVD에 이르기까지 광 Memory의 기록 밀도는 꾸준히 증가되어 왔다. 앞으로는 초고 기록 밀도의 삼차원적인 기록이 가능하게 되고 이 경우 현재보다 100배 이상의 고밀도 기록도 가능하다. 그러나 빛의 파동성에 의해 LASER광의 집광 Spot Size가 무한히 작게 되지 않는 반면 자기 Memory는 파동적 성질을 사용하지 않기 때문에 근본적으로 이런 한계를 넘을 수 있다. 자석화된 매체에 박막 자기 Head를 근접시켜 자장의 세기를 검출하는 방법이므로 기록 재생의 밀도는 자기Head의 Gap크기에 의해 결정되고 파장엔 제한이 없다.

그러나, 광기록 방식의 여러 장점을 살리기 위해 고밀도화의 연구가 지속적으로 진행되고 있다. 이런 방법으로서 대표적으로 연구되는 것으로 다음의 방식들이 있다.

- 단파장 source 및 고NA광학계 system의 연구
- 초해상
- Near Field 광학 현미경을 이용한 광 Memory
- 3차원 기록 방식

또한 현재의 광Memory의 대부분은 재생전용이다. 소거 기록형의 광Memory에 대한 연구는 상당히 진전되어 왔으나 실용화하는 데에는 기술 외적인 요인의 영향을 많이 받는 것이 현실이다. 현재 기록방식으로 상품화내지 조기에 상품화가 가

능한 것으로는

- DVD-RAM
- ASMO(Advanced Storage MO)

를 들 수 있다.

4.1 Recording 관련 기술

4.1.1 DVD-R 및 DVD-RAM

Book E에 규정된 DVD계열의 Application으로 DVD-RAM이 있다. 이는 2.6GB용량으로서 10만회 이상 반복기록이 가능하도록 되어 있다.

반복기록 광 Disc기술의 양대축인 상변화 방식과 광자기 방식중, 금번 DVD-RAM 규격은 상변화 방식을 채택하였다. 이는 재생 전용 Disc와의 호환을 용이하게 함을 노린 결정이었으나, Disc상에 pre-formed address pit를 기록해 두어야 하는 등의 문제가 있어, 재생 Disc와 완전한 1:1 호환 달성에는 성공하지 못했다.

또한 현재에 있어서 기술적으로 가장 큰 장벽은 DVD-ROM의 용량이 4.7GB인데 비하여 DVD-RAM 1세대의 규격은 2.6GB에 불과하다는 것이다. 용량을 높이기 위해 Land/Groove 양쪽 모두에 기록하는 방식을 채택했음에도, 기록재질 등의 문제로 원하는 용량을 얻지 못하고 있다.

그러나 이미 편면 4.7GB의 차세대 DVD-RAM의 개요가 발표되고 있으며, 1999년에 편면 기록 용량을 재생전용 DVD와 같은 4.7GB로 하는 제2세대 DVD-RAM을 실용화 할 계획으로 있다. 차세대 DVD-RAM은 Track Pitch를 제1세대의 0.74 μm 에서 0.55~0.6 μm 정도로 줄이고, 니콘이 개발한 Deep Groove(DG)방식 등을 적용하여 熱的 Cross-talk 영향을 감소시킬 것으로 보이며, 선 기록 밀도는 PRML(partial response max-

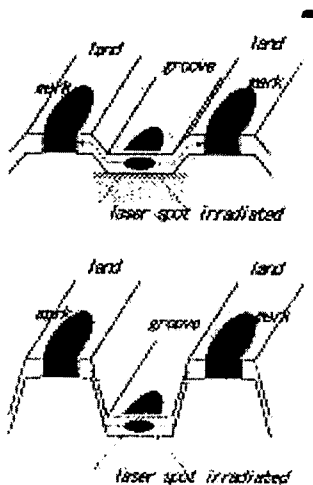


그림 10. Land/Groove 기록 및 Deep Groove방식.

imum likelihood) 등의 신호처리 기술을 채용하여 기록 용량을 높일 계획이다. 이 때 두께 0.6 mm의 단판 Disc를 사용하는 것으로 되어 있다. 그러나 이것 역시 기존 Disc와의 호환성 문제 등을 해결해야 하는 과제를 남기고 있다. 한편 CD-R과 같이 1회 기록용 DVD-R의 규격도 제정되어, 현재 편면 3.9GB의 용량을 실현한 시제품이 발표된 상태이다.

4.1.2 ASMO

DVD-RAM이 상변화 방식으로 결정됨에 따라, MO방식 진영에서 이에 대응하는 규격으로 제시한 것이다. 96년 발표 당시 "MO-7"로 명명되었다가 97년 들어 ASMO로 명칭을 변경하였다. 직경 120 mm, 두께 0.6 mm의 단면 기록 방식으로 약 6GB의 기록 용량을 목표로 하고 있다.

또한 광자기 기술로서 ASMO의 후속으로 예측되는 자구의 확대 재생 기술 "MAMMOS" (Magnetic Amplifying Magneto-Optical System)를 사용한 기록 가능 기술이 발표되어 기록 밀도 20Gbit/Inch가 광원 파장 680 nm, 대물렌즈 NA(개구수) 0.55 등 모두 실용화 되고 있는 광학계로서 실현 가능성을 시사하고 있으며, 직경 120 mm의 디스크라면 약 30GB의 용량이 가능하다. 이와 같은 초고밀도화는 Disc 기록재질 및 기록, 재생 방식에 대한 신기술이 개발됨에 의해 가능해 진 것이다.

현재 ASMO에 적용되는 기본기술로서는

- Magneto-Optical Material
- Land/Groove Recording
- Laser Pulse Strobe Magnetic Modulation Recording
- Magnetic Super Resolution

을 들 수 있다.

4.1.3 다층기록 및 기타 광Memory

삼차원적으로 굴절을 분포를 기록할 수 있는 Volume Hologram 등에 대한 연구가 꾸준히 진행되어 왔다. 특히 Photo Polymer는 광중합을 이용하고 있어서 굴절을 변조도가 높고 또 기록후의 열화, 변질이 없다. 다만 재기록이 불가능해서 다층의 재생전용 Disc로서 이용할 수 있을 뿐이다. LiNbO₃ 등의 강 유전성 결정도 LASER Beam Spot이 내리쬐어진 곳에 있어서 국소적으로 굴절율이 변화해서 다층 광 Memory로서 이용

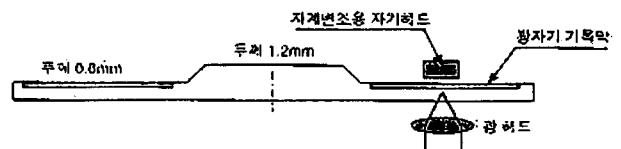


그림 11. ASMO 기록, 재생방식.

참고문헌

할 수 있다. 굴절을 분포는 결정내에서는 전자 밀도의 분포에 따라 형성되어 있어서 빛을 조사하면 분포는 변하므로 소거 가능한 Memory로서 사용할 수 있다.

다층 광 Memory에서는 LASER Beam을 Focus해 1점씩 Data를 기록하고 재생 하는 현재의 광 Memory기술이 그대로 이용된다. 다른 점은 깊이 방향의 주사, 제어 기구가 필요한 것 뿐이다.

다층 Memory의 실용화의 시작은 DVD 이다. 그러나 이것은 2층구조로 본격적인 multi-layer개념은 아직 실현화 단계에 와 있지는 못하다. 본격적인 다층 광 Memory의 문제점, 과제는 층간 Data의 Cross Talk의 해결이 가장 크게 꼽히는 점이다. 그러나 현재의 기술이라도 이미 30층은 Error 없이 기록 재생에 성공하고 있다.

한편 기록/재생층과 광원을 밀착시켜 기록 밀도를 높이는 Near-field방식의 연구가 활발히 진행되고 있으며, 특히 미국의 TeraStor사는 Solid Imersion Lens를 사용해 저장 용량 20Gb급의 시제품을 금년 가을에 선보일 계획을 갖고 있다.

4.2 고속화 기술/ 박형화 기술

주로 고속화 및 박형화의 기술은 생산 기술 측면과 관련된 사항이 많이 있다. 이러한 요소로서 제일 중요한 것은 Pick-Up의 무게를 줄이는 것과 광학 system 최적 설계에 의해 광로의 길이를 축소하는 것이다. 즉, 부품의 크기를 직접적으로 줄이는 것이다. 그런데 이 분야의 신기술로서 연구되고 있는 것으로는 여러 광부품을 집적화 하는 Sony의 Laser Coupler형, 松下의 초소형 광자기 기록용 집적 광Head 등이 있다.

5. 결 론

신규적으로 등장한 DVD를 중심으로 하여 Disc분야의 광기록 기술의 전반적인 연구분야에 대하여 살펴 보았다.

이중 어느 분야도 단 하나의 기술로서 그 목표를 달성할 수 있는 것은 없다. 기초광학, 제어기술, 신호처리 기술, 재료기술, 정밀가공기술 등 기초과학 및 생산기술의 모든 분야가 골고루 제기능을 갖추고 상당 수준에 도달되어 있어야 한다. 앞으로도 계속 저장 media의 용량, 전송 Rate 등의 개선 요구는 끊임없이 이어질 것이며, 이에 맞추어 광원, Disc, 광학계 design, 신호처리 기술 등의 발전에 의한 신규적의 제안이 계속될 것이다.

6. 감사의 말

원고 정리하느라 수고한 유호윤씨에게 감사드립니다.

1. 米澤成二, 次世代光ディスク技術, トリケプス (1995).
2. 米澤成二, 光記録, HighWits (1996).
3. Masud Mansuripur, The Physical Principles of Magneto-Optical Recording, Cambridge University Press (1995).
4. G Bouwhuis, *et al.*, Principles of Optical Disc Systems, Adam Hilger Ltd. Bristol and Boston (1985).
5. DVD Specification.
6. W. Smith, Modern Optical Engineering, McGraw-Hill Book Company (1966).
7. Alan B. Marchant Optical Recording: A Technical Overview, Addison-Wesley Publishing Co., (1990).
8. 尾上守夫, 光ディスク 技術, ラジオ技術選書 光ディスク技術 198 (平成元年).
9. Learning Center기술교육, 정보기록 및 재생개론, LG Electronics (1996).
10. Optical Data Storage Topical Meeting. (OSA) 매년개최.
11. ISOM International Symposium on Optical Memory 매년개최.
12. http://www-eu.philips.com/pkm/laseroptics/dvd/brochure/index_en.htm.
13. <http://www.syndir.com/>.
14. <http://www.institute.ieee.org/publicaccess/0895ops.html>.
15. <http://www.tacmar.com/index.html>.
16. <http://www.ima.org/forums/imf/dvd/faq.html>.
17. <http://www.meridian.co.uk/ara/>.
18. <http://www.unik.no/robert/hifi/dvd/>.
19. <http://bmr.c.berkeley.edu/projects/mpeg/faq/MPEG-2-FAQ.html>.
20. <http://www.hip.atr.co.jp/eaw/minidisc.html>.
21. <http://www-old.ircam.fr/sons/archives/MIDI/doc/CD-ROM>.
22. <http://techweb.cmp.com/techweb/eet/sst/96/issue3/sstfeatures.html>.
23. <http://www.sharpmeg.com/datasheets/drives/index.html>.
24. <http://alumni.caltech.edu/rdv/comp-arch-storage/FAQ-1.6html>.
25. http://perpolis.usc.edu/Users/shkim/dblab_papers.html.
26. <http://www.sel.sony.com/SEL/consumer/dvd/>.
27. <http://www.toshiba.com/tacp/SD/>.
28. <http://202.13.88.131/product/dpickup/>.
29. <http://202.13.88.131/product/dvd/>.
30. http://www.opt-sci.arizona.edu/odsc/cd_dasd/cd_dasd.htm.
31. <http://www.acs.brockport.edu/cd-i/>.
32. http://www.ccpo.odu.edu/ug/erasable_optical_disk.html.
33. <http://www.cd-info.com/CDIC/Technology/Terminology.html>.
34. <http://www.discmfg.com/techlib/index.html>.
35. <http://www.jvcdiscusa.com/specs/glossary.htm>.
36. <http://octave.com/octave/audiocd.html>.
37. <http://www.osta.org/html/ostatech.html>.
38. <http://www.jvcdiscusa.com/specs/techdocs.htm>.
39. <http://www-us.philips.com/sv/newtech/cd.html>.
40. <http://cuiwww.unige.ch/OSG/MultimediaInfo/Info/cd.html>.
41. <http://www.sanyo-verbatim.com:80/glossary.html>.
42. http://info.goldstar.co.kr/tech/tr_top.htm.