

MEMS의 광통신 및 정보 저장 분야에의 응용

부 종 목
LG 종합 기술원

I. 서 론

MEMS(Micro Electro Mechanical System) 기술을 소형화와 저가격화라는 대치 개념을 뛰어넘어 새로운 시스템의 창출하거나 실현한다는 관점에서 볼 때, 가장 가능성이 크게 열릴 수 있는 응용 분야 중 하나로 광학 기술과 접목 된 Optical MEMS 분야를 꼽을 수 있다. 광학 응용을 위한 MEMS의 연구는 MEMS 기술의 발아기인 70년대 Peterson(1) 등에 의해 처음 보고된 이후 미미한 상태에 머물렀으나, 90년대 이르러 본격적으로 활발한 연구가 진행되고 있다. 아직 까지 디스플레이 관련 미러(2)를 제외하고는 상품화까지 이른 예는 보고되고 있지 않은 실정이나, 최근의 MEMS 관련 학회의 발표 내용을 중심으로 연구 동향을 분석해보면 Optical MEMS 분야의 연구가 급격하게 늘고 있음을 알 수 있으며, 연구의 내용도 과거 단순한 광응용 센서 중심에서 광통신 분야나 데이터 저장 시스템에의 응용에 많은 시도가 진행되고 있음을 알 수 있다. 본문에서는 최근의 MEMS 연구 분야 중, 광통신 및 광 정보 저장 관련 내용을 중심으로 간략하게나마 소개하므로써 기술의 경향을 파악하고, 국내 연구자들의 관심을 고조시키고자 한다.

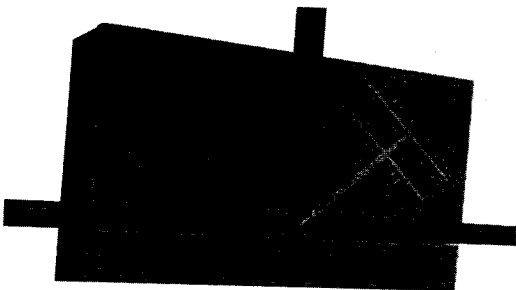
II. 광통신 응용 MEMS

1. 광스위치

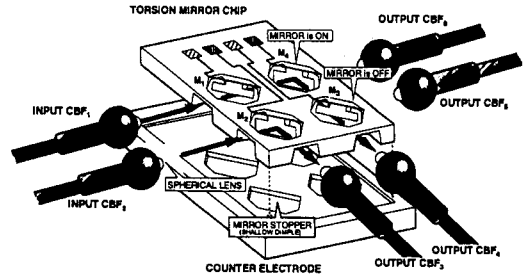
동화상 등의 대용량의 정보를 고속으로 전송시키려는 니즈에 대응하여 광통신 네트워크의 필요성이 급속하게 증대되고 있다. 기계식 광스위치는 파장이나 편광 의존성이 없으며, 스위칭 시만 전원을 소비하는 등 여러 가지 이점을 갖고 있어, 광 네트워크의 신뢰성을 높일 수 있는 중요한 소자로 생각되어져 왔으나, 소형화나 집적화에 많은 난점이 있는 것이 단점으로 인식되어 왔다. 최근 MEMS 기술을 이용하여 이러한 난점을 해결하여 광스위치를 구현하는 시도가 많은 연구자들에 의

해이루어지고 있으며, 크게 나누어 구동방법에 따라 정전력을 이용한 방법과 전자기력을 이용하는 방법으로 구분할 수 있다. MEMS 기술을 이용한 광 스위치의 제작은 광코넥터를 함께 집적화 시키므로서 제작비용의 대폭 절감과 정렬 오차의 무시에 따른 조립 편리성이란 측면에서 매우 커다란 파급 효과를 가져올 수 있으며, FTTH(Fiber-To-The-Home) 시스템을 실현할 수 있는 가능성 높은 수단이 될 수 있다는 점에서 앞으로 크게 기대가 되고있는 응용 분야 중 하나이다. 이에 최근 주목할만한 몇몇 연구 결과들을 살펴보기로 한다.

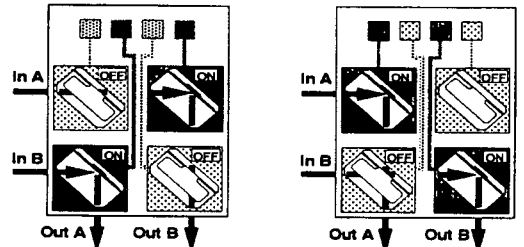
프랑스 LETI 연구소는 광도파로를 정전력을 이용하여 구동시킨 스위치를 보고하였는데(4) 구동 전압과 insertion loss를 그들의 이전의 연구(3)에 비해 크게 저감시켰다는 데에 의미가 있다. Fig. 1은 C. Marxer(5) 등이 보고한 2x2 광 스위치로서 comb drive로 구동되는 미러에 의해 구동되는 소자이다. 이는 fiber groove가 같이 집적화된 것으로 스위칭 시간은 0.2 ms 이하이다. 동경 대학의 Fujita lab. 에서 보고된 hinge mirror를 이용한 2 x 2 matrix switch는(6) matrix 갯수를 더 확장시킬 여지가 있다는 점에서 향후 optical multiplexer 나 demultiplexer에 응용이 가능하다는 이점을 갖고 있다. AT & T Bell lab.에서는 3.5 Mbit/sec.의 MARS(Mechanical Anti-Reflection Switch)를 보고하였는데(7), 이는 air gap이 Fabry-Perot 구조를 갖도록 설계되었으며, service bandwidth의 요구 사양을 고찰해 볼 때, 압축된 영상을 전송할 수 있는 속도에 해당된다(Fig. 3).



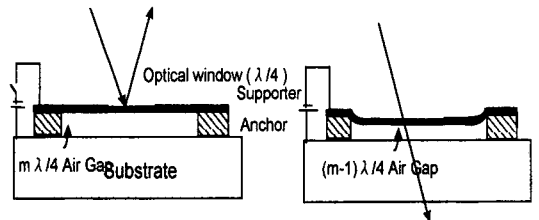
(그림 1) 미소 기계식 스위치의 개략도(5)



(a) 정전력 torsion mirror에 의해 구동 되는 free-space 광스위치의 개념도

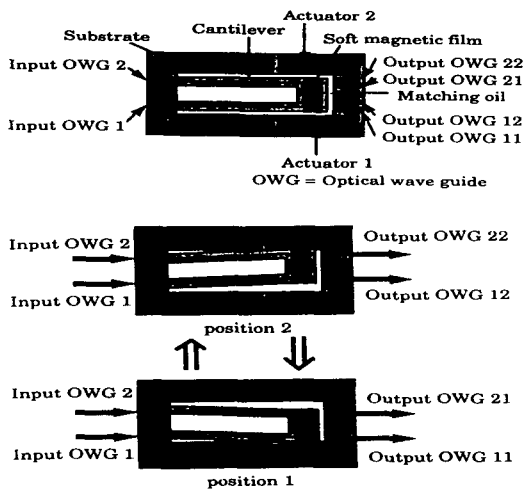


(그림 2) (b) 스위칭 매트릭스의 도식도(6)



(그림 3) MARS 소자의 동작 원리도(7)

전자기력을 이용한 광 스위치는 voice coil 형의 actuator를 소형화시키는 개념에서 출발하였는데 최근 그 연구는 보다 커다란 변위를 얻을 수 있고, 정전력형에서 요구되는 holding voltage가 필요하지 않다는 점에서 커다란 장점을 갖고 있다. 가장 최근 Hitachi에서 보고한 prototype의 광 스위치(8)는 광도파로가 집적화되어 있는 silicon 기판이나 석영 기판을 직접 이용할 수 있는 소자라는 점에서 매우 흥미 있는 시도라 할 수 있다(Fig. 4). 보다 간단한 구조로 실용화에 근접해 있는 것은 NTT에서 연구했던 single-mode fiber switch(9)이다. 이는 non-silicon micromachining 기술을 이용한 것으로 어느 정도의 내구성 시험 결과까지



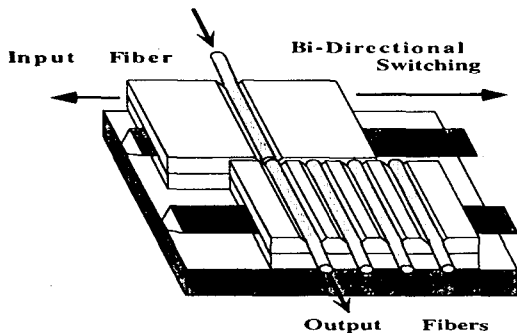
〈그림 4〉 전자기력으로 구동 되는 광 스위치의 개략도와 동작 원리(8)

보고된 상태이며 이를 확장하여 -30 dB 이하의 polarization crosstalk을 갖는, $1 \times N$ PANDA (Polarization-Maintaining and Absorption Reducing) switch 를 연구 중이다. 또한 MicroJoinery라는 자기력으로 구동되는 switch (10)는 비교적 그 제작 과정이 간단하며, $n \times m$ switch로 확장이 용이하다는 점에서 매우 흥미로운 소자라 할 수 있다. 이 외에도 도금 Ni을 구조체로 이용하여 열적으로 actuating 시키는 방법 (11)등 다양하고 독특한 여러 가지 방법들이 제안, 보고되고 있다.

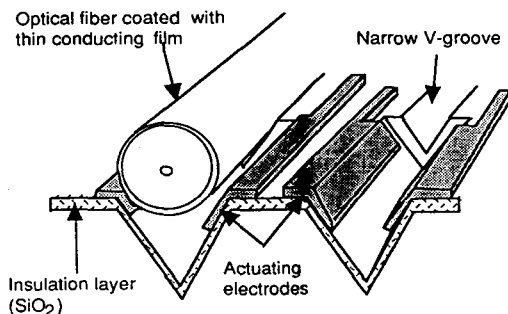
2. 광 connector

광의 주파수는 전기와 비교하여 상당히 높으므로 광의 전송 능력은 매우 우수하나 어느 시점에서는 전기로 변환 시켜야 한다. 이러한 광과 전기의 상호 변환 과정을 어느 정도 순조롭게 진행 시키나라는 문제는 조립의 간편성 및 조립의 정확성과 연계되어 명확하게 규정되어야 한다. 이 모든 것은 cost와 밀접하게 관련되는 것으로서, 광통신의 경쟁력을 강화시킬 수 있는 중요한 요소로 대두되고 있다. 예를 들어 single mode fiber의 core부의 직경이 약 $10 \mu\text{m}$ 라 할 때 alignment의 정확도는 약 $1 \mu\text{m}$ 이내가 되어야하므로 전기 배선의

입장에서 보면 생각할 수도 없을 정도의 높은 정확도가 요구되며, 이것이 광의 assembly 및 connection에 있어 비용을 크게 증가시키는 요인으로 작용하게 된다. 이러한 점에서 종래 사용되는 광량을 모니터하면서 조립하는 active alignment 방법은 조립 시간의 지연으로 cost의 발생 원인이 된다. 이에 비해 실리콘의 이방성 에칭 특성을 이용한 V groove의 형성에 의한 passive alignment 방법은 열전도 특성이 비교적 우수한 heat sink 를 Si기판으로 직접 이용할 수도 있고, 빠른 시간에 조립을 완성시킬 수 있다는 이점 때문에 광접속 기술에서의 장애 가장 중요한 요소가 되리라 생각된다. 초기의 이에 대한 연구는 단순한 V-groove의 형성이 주가 되었지만(12), 미소 위치 조정 기능을 갖는 optical coupling machine(13) LIGA 기술을 이용한 connector(14)등 수많은 연구들이 보고되고 있는 실정이다.



〈그림 5〉 MicroJoinery : $1 \times n$ 스위치(10)

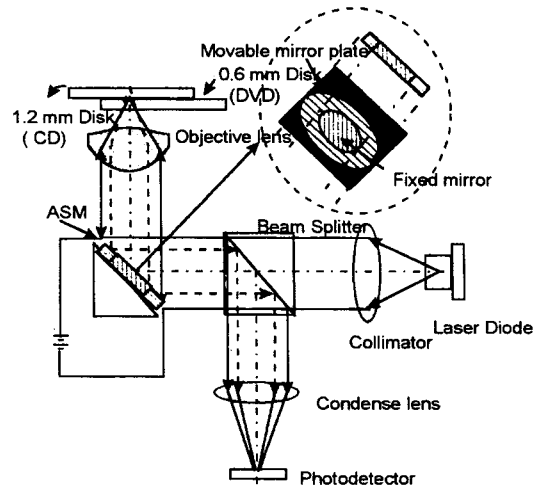


〈그림 6〉 미소 정렬 기계의 모식도(13)

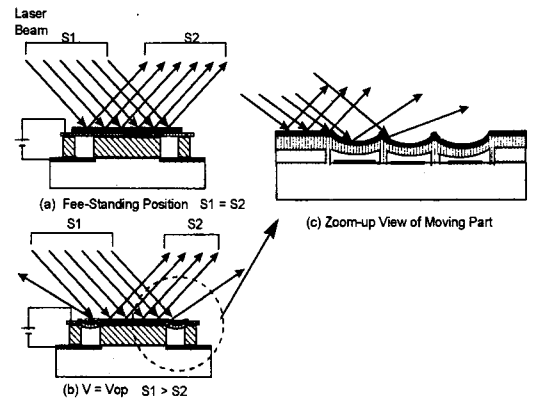
III. 데이터 저장 시스템 응용 MEMS

1. DVD 에의 응용

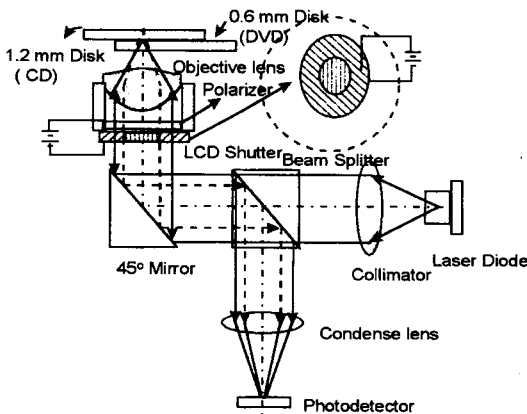
컴퓨터, 정보 통신 분야 등의 발전과 함께 정보를 저장하는 매체 기술인 광 기록 기술도 급속도의 발전을 보이면서 수 Giga bytes의 기록 용량을 한 장의 디스크에 저장하는 DVD(Digital Video Disk)시대가 이미 도래하였다. DVD 에서 요구되는 중요한 사양 중 하나는 이전의 CD(Compact Disk)와 호환성을 갖도록 하는 것이다. 종래의 CD를 읽기 위해서는 픽업의 Numerical aperture가 기판의 두께 차이에서 오는 spherical aberration을 줄여 주므로서 조정되어야 한다. 이와 같은 문제의 해결을 위해 LCD shutter mirror (15)나 holographic dual focusing element(16) 등의 기술이 개발되어 왔다. LG 종합 기술원은 최근 보다 광학계를 단순화시키면서 동시에 우수한 성능을 갖도록 하기 위한 수단으로 MEMS 기술을 도입한 Annular shutter mirror(17)를 제안, 개발하였다. 이외에도 각종 광학계에 MEMS 기술을 도입할 여지는 적지 않으며 이는 저가격화를 이루는 동시에 이 분야에서의 경쟁력 우위 확보를 위한 방편으로 활용될 수 있다. (Fig. 7, Fig. 8)



(그림 7) (b) ASM을 이용한 새로운 방식의 픽업 모듈(17)



(그림 8) ASM의 동작 원리(17)

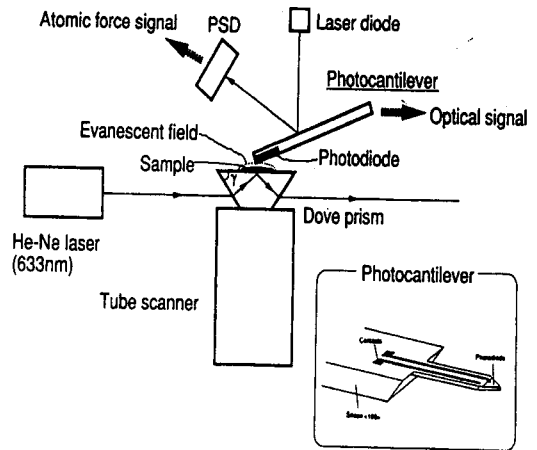


(a) 기존의 LCD 차폐 방식을 이용한 픽업 모듈

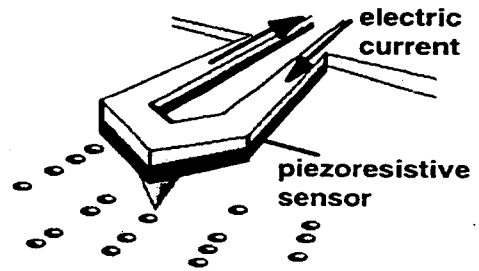
2. 근접장 광학 이용 광메모리의 응용

앞으로 광 기록 기술의 발전과 정보의 대용량화라는 추세에 비추어 볼 때 현재의 광 기록 기술을 뛰어 넘는 초 대용량의 광 기록 기술의 개발이 필수적으로 진행될 것이다. 이를 위하여 현재의 광 기록 기술의 연장선상에서 청색광 레이저 개발을 통한 빛의 단파장화로 광 기록 밀도를 높이려고 하고 있지만 근본적으로 optical lens를 사용하는 현재의 광 기록 기술은 레이저 광의 단파장 이내로는 광 기록 밀도를 높일 수 없다는 한계가 있다.

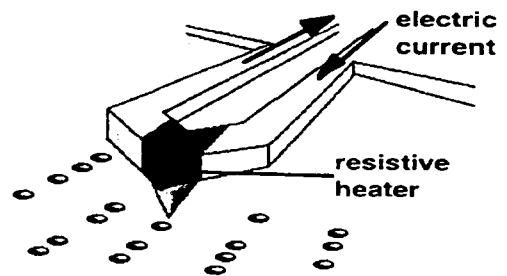
따라서 이를 극복하기 위해서는 새로운 방식의 광 기록 기술 개발이 필요한데 최근 이러한 문제점을 해결하기 위하여 근접장 광학(Near Field Optics)을 응용한 광 기록 기술이 새롭게 각광을 받고 있다. 근접장 광 기록(Near Field Optical Data Storage)기술은 광의 파장 보다 작은 크기의 광 출력부와 광 인지부를 만들고 이를 레이저 광의 단파장 이내의 거리로 기록 매체에 근접시킴으로서 레이저 광의 파장보다 적은 단위의 정보를 읽거나 쓸 수 있게 한다. 초기에는 optical fiber의 선단을 미세 cip으로 만들어서 광 입출력을 제어하였으나 현재는 이 외에도 Solid Immersion Lens와 MEMS를 이용한 연구도 활발하다. 특히 MEMS를 응용할 경우 근접장 광학에서 요구되는 미세 Tip 개발이 용이 할 뿐 아니라 미소 위치 제어도 가능하여 본 기술 개발에 최적이라고 할 수 있다. 이 기술을 토대로 현재 최소 200Å 단위의 해상도를 가진 광 기록 데이터가 발표되기도 하였다. 이는 현재의 광 기록 기술과 비교하여 1000배 이상의 고밀도를 가지는 것으로 디스크 한 장에 이론적으로 수백 편의 영화가 들어가는 것이다. 이 기술이 실용화되면 근본적으로는 현재 기록 매체 시장에서 주도권을 행사하고 있는 기존의 광 기록 기술의 비약적인 발전을 이룰 수 있기 때문에 세계 각 연구소에서 장기 과제로서 연구 투자를 강화하고 있다. 이 기술을 실현하기 위해서는 초 미세 광 입출력 기술 개발, nano scale 위치 제어 기술 개발, 광 기록 재료 및 디스크 개발, 광 기록/재생을 위한 시스템 개발 등의 과제가 남아 있다. Fig. 9는 NTT의 연구 group에 의해 보고된(18) photocantilever의 개략도 이다. 간략하게 광메모리의 응용 현황을 보면, IBM의 Group에서는, AFM(Atomic Force Microscope) Cantilever와 광기술을 융합시켜, 수십 nm 크기의 Pit을 형성하여 그것을 읽어내는 각종 초고밀도기록 기술을 보고하고 있다. 또한 이와는 별도로 스탠포드 대학과 함께 Cantilever를 접촉 방식으로 압저항과 joule열을 이용하여 tip을 만들어 기록하고 읽어내는 방법으로 30G Bit/in²의 기록밀도를 보고하였다(19)(Fig.10). AT&T Bell 연구소는 광 memory응용



〈그림 9〉 Photocantilever를 이용한 NSOM/AFM 모의를 위한 장치도(18)



(a) Integrated piezoresistive sensor



(b) Integrated resistive heater

〈그림 10〉 실리콘 cantilever에 기록/재생부를 집적화 시킨 thermomechanical 방식의 데이터 저장 장치(19)

을 target으로 하여, 기록 및 읽기속도의 향상,광

출력 증대, tracking 제어의 실현 등에 관한 연구를 행하고 있으며, 광출력을 증대하기 위하여, 광 Fiber Probe로 Nd^{3+} dope fiber를 이용하여, 1.06 μm 인 파장으로 Nd^{3+} Laser 발진 Threshold 부근에서 동작시키는 방법을 보고하였다. 이를 이용하여 100nW Power로 100nm인 공간분해능으로 읽어낼 수 있는 것으로 보고되고 있다. 이 밖에도 미국과 일본을 중심으로 많은 대학에서 활발한 창의적 연구가 진행되고 있으며, 향 후 높은 S/N비, 쓰기 및 읽기 속도 향상, access 방식 등의 연구에서 MEMS 기술을 접목하여 괄목할 만한 성과가 이루어진다면, tera byte급의 초고밀도 memory를 실현할 수 있는 가능성이 매우 큰 기술이라 생각된다.

3. Holographic Memory에의 응용

현재의 광 memory 기술 연장으로는 고속성, 고밀도화에 한계가 있다는 관점에서 새로운 기록 기술 개발이 장래에 필요하다는 배경으로 holographic 다중기록은 이차원정보의 일괄 기록 재생으로 고속화, 다중기록에 의한 고밀도화가 가능하기 때문에, 초고밀도 광 memory 기술의 하나로 기대되고 있다. holographic memory를 시스템으로 실현하기 위해서는 이차원적 입출력 장치와 반도체 Laser 유도 방출 광원 등의 기록 재생 광원, 매체 기술 등 주변 기술의 고성능화, 소형화가 필요하다. 이에 Caltech의 연구 group은 기존의 bulky한 stepping motor 나 고가의 AOM(Acoustic Optical Modulator)를 대신할 수 있는 MEMS 기

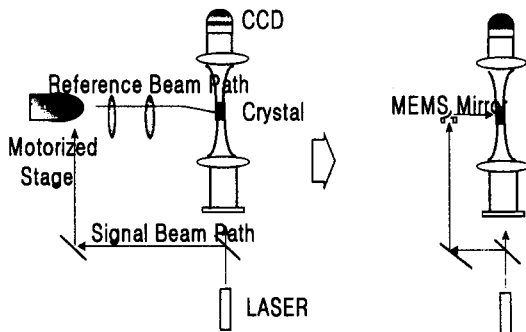
술을 이용한 steering mirror를 보고하였다(20). 이 mirror device는 외부 자장을 필요로 하며 전류의 제어에 의해 0.03도의 위치 제어 분해능과 총 15도 정도의 조향 능력을 갖고 있다. (Fig. 11)

IV. 결 론

지금까지 고찰한 바와 같이 multimedia 시대의 digital 영상 service의 실용 단계로 초고밀도 광 Memory의 실현과 광통신망의 대중화(FTTH)를 구축하기 위해서는 현재 상존하고 있는 몇 가지 기술적 난점을 극복해야 하는 것이 선결 과제로 남아 있다. 이러한 문제들의 해결에 있어 MEMS 기술에 기반하여 접근하고 있는 많은 새로운 아이디어들이 기존에 불가능하게 여겼던 문제들에 가능성에 대한 실마리를 제공하고 있음을 잘 알 수 있다. 향 후 free-space를 구성할 수 있는 MEMS 기술과 광학 기술의 접목을 통해 새로운 시스템의 창출이 기대되고 있으며, 최근의 연구 보고 곳곳에서 이미 그 실현의 조짐들이 나타나고 있다. 결국 MEMS 소자는 그 자체로서의 단순 부가가치를 기대하는 것 보다는 구현되는 총합 시스템을 통해 사회 전체에 커다란 변화를 가져 오게 할 수 있는 수단이라 생각한다.

참 고 문 헌

- [1] K.E Peterson, "Micromechanical light modulator array fabricated on silicon", Appl. Phys. Letter, Vol 31, 8, p 521, 1977.
- [2] L.J. Hornbeck, "Current status of the digital micromirror device(DMD) for projection television applications," International Electron Devices Technical Digest, p 381, 1993.
- [3] E. Ollier, P. Labeye, F. Revol, "Micro-



(그림 11) 홀로그래프 방식의 데이터 저장 장치에 응용하기 위한 MEMS mirror

- opto mechanical switch integrated on silicon”, Electronics Letter, Vol. 31, No. 23, p 1297, November 1995.
- [4] E. Ollier, P. Labeye, F. Revol, “Micro-opto mechanical switch integrated on silicon for optical fiber network”, Digest IEEE/LEOS 1996 Summer Topical Meetings, Keystone, Colorado, Aug. 5-9, 1996, FB2.
- [5] C. Marxer, M.-A. Gretillat, N.F. de Rooij, R. Battig, O. Anthamatten, B. Valk, P. Vogel, “Vertical mirrors fabricated by RIE for fiber optical switching applications.” Proc. of The 10th IEEE Micro Electro Mechanical Systems Workshop, Nagoya, Japan, p 49, Jan. 26-30, 1997.
- [6] H. Toshiyoshi, Hiroyuki Fujita, “Electrostatic micro torsion mirrors for an optical switch matrix” Jr. of Micromechanical Systems, Vol. 5, No. 4, p 231, Dec. 1996.
- [7] J.A. walker, P.P Iannone, W.M. McDonald, R. Ruel, R. Boie, S.C.Arney, N.J. Frigo, D.J. Bishop, “3.5Mbit/sec. MARS modulator system performance for FTTH applications”, Late-news poster session supplemental digest of Solid-State Sensor and Actuator Workshop, Hilton Head Island, South Carolina, June 3-6, 1996, p 35
- [8] K. Sato, M. Horino, T. Akashi, Y. Aida, “Prototype of optical switch by micro machine technologies” 電子情報通信學會技術研究報告 EMD 97-30~44, p7, Aug. 1997.
- [9] Shinji Nagaoka, Yoshio Suzuki, “Compact optomechanical switches and their applications in optical communication and testing system”, Proc. of The 10th IEEE Micro Electro Mechanical Systems Workshop, Nagoya, Japan, p 366, Jan. 26-30, 1997.
- [10] C. Gonzalez, S.D. Collins, “MicroJoinery : Micromachined translational stage for optomechanical devices and systems”, Digest of Technical Papers Volume 1, p 273, Transducers 97, Chicargo, June 16-19, 1997.
- [11] L.A. Field, D.L. Burriesci, P.R. Robrish, R.C. Rubby, “Micromachined 1 x 2 optical-fiber switch”, Sensors and Actuators A53, p 311, 1996.
- [12] J. V. Collins, et. al. “Passive alignment of a tapered laser with more than 50% coupling efficiency” Electron Letter., Vol 31, No.9, p 730-1.
- [13] Y. Kikuya, et. al., “Micro alignment machine for optical coupling”, Proc. of IEEE Micro Electro Mechanical Systems Workshop, Fort Lauderdale, FL, p 36, Feb. 7-10, 1993.
- [14] M. Gerner et. al. “Micro-optical components for fiber and integrated optics realized by the LIGA technique” Proc. of IEEE Micro Electro Mechanical Systems Workshop, Amsterdam, the Netherlands, p 328, Feb. 2, 1995.
- [15] M.H.Lee et al, “Liquid Crystal Shutter-Optical Head for DVD player with CD Compatibility Technical Digest of International Symposium on Optical Memory and Optical Data Storage, July 8-12, 1996, Maui, Hawaii, pp 317.
- [16] Yoshiaki Komma et al, Dual focus optical head for 0.6mm and 1.2mm disks SPIE Vol. 2338 Optical Data Storage, 1994, pp 282.
- [17] J. Bu, J. Hwang, J. Lee, K. Yang, S. Noh, “ Annular shutter mirror for a DVD player” submitted to 11th IEEE Workshop on MEMS which is going to be held in

Heidelberg during January 25–29, 1998.

- [18] K. Fukuzawa, et. al. “Imaging of optical and topographical distributions by simultaneous near field scanning optical/atomic force microscopy with a microfabricated photocantilever” J. Appl. Phys. 78, (12), 15 p 7376, Dec. 1995.
- [19] B. Chui, et. al. “Improved cantilevers for AFM thermomechanical data storage”

Digest of Solid–State Sensor and Actuator Workshop, Hilton Head Island, South Carolina, Jine 3–6, 1996, p 219.

- [20] R. Miller, G. Burr, Y–C. Tai, D. Psaltis “Electromagnetic MEMS scanning mirrors for holographic data storage” Digest of Solid–State Sensor and Actuator Workshop, Hilton Head Island, South Carolina, June 3–6, 1996, p 183.

저 자 소 개

夫 鍾 郁

현재 LG종합기술원 소자재료연구소 MA GR.장