



## 전자부품연구원 나노광전연구센터 연구 현황

이한영, 김명진, 윤형도, 조영창, 윤대원, 김 훈

전자부품연구원 나노광전소자연구센터

경기도 성남시 분당구 아람동 68번지, hylee@keti.re.kr

### 개 요

나노광전소자연구센터는 3개의 연구본부로 나누어져 있는 전자부품연구원의 나노융합연구본부에 속하고 있어, 주로 바이오, 메디칼, 환경 등에 적용 가능한 광센서 개발에 주력하고 있다. 기존에 광부품연구센터와 나노광전연구센터로 분리되어 있던 두 개의 센터가 2005년 2월 분당 신축 건물로 이전하면서, 광기술과 초고감도 광검출기 기술의 접목을 통해 의료, 환경, 바이오 등의 분야에서 비접촉/원격 진단 기술 개발을 위해 하나의 거대 센터로 새롭게 조직되었다. 현재 26명의 연구원이 NIR/MIR(near/mid infrared) 레이저 광원, 초고감도 광검출기, CMOS 이미지 센서, ROF(radio over fiber)를 위한 60GHz 광캐리어 발생기, 고정밀 다층 박막, 실리콘 집적 광소자 등을 개발 중에 있다. 이외에도 고정형 광필터, 광감쇄기, 광커넥터, 광콜리메이터, ONU(Optical Network Unit), 광섬유 격자 필터 등을 개발/기술이전하여 이미 상용화된 바 있다.

당 센터가 보유하고 있는 대표 기술로는 집적형 electro-optic 광소자 기술(10GHz, 40GHz 광 변조기, 위상 변조기, 집적형 편광제어기, 초고속 광스위치, 음향탄성 필터, OADM 등), 실리콘 평판 소자 기술(광 파워 분배기, 가변광 감쇄기 등), 유전체 다층 박막 기술(필터형 WDM/CWDM, 100GHz/50GHz/25GHz용 DWDM 필터, 50GHz spacing 16채널 MUX/DEMUX 등), high power 화합물 광소자 기술, nano-structure 광검출기 기술(Quantum dot, quantum wire, 실리콘 CMOS 이미지 어레이 등), 주기적 분극 반전 기술(디스플레이용 blue laser, 광대역 파장 가변 NIR/MIR 레이저 광원, quasi-phase matching, second harmonic generation, optical parametric oscillation 등) 등이 있다. 이들 연구를 위해 MBE(molecular beam epitaxy), NLD(neutral loop discharge) dry etcher, 분위기 제어 확산로, 1% 미만의 균일도를 보이는 E-beam 증착기, 12인치 타겟용 다층 박막 증착기(Spector), FHD 등의 공정 장비와 제작된 소자 및 모듈의 성능을 측정/계측할 수 있는 다양한 종류의 계측 장비를 갖추고 있다.

### 초고속 전기광학 소자 기술

#### 2.1 광강도변조기(Optical Intensity Modulator)

정보화 사회에서 고속, 대용량 전송요구에 효과적으로 대처하기 위한 방법의 하나로 광통신 시스템에 대한 연구가 국내외적으로 이루어지고 있다. 특히 광통신 시스템이 지닌 고속, 광대역성을 유효적절하게 이용하기 위해 전송능력을 증가시키는 연구가

진행중이며, 광변조기는 고속, 광대역 광통신 시스템을 구축하는데 매우 중요한 위치를 차지하고 있다. 특히 광변조기 구현을 위한 기반기술로써 반도체공정 기술과 마이크로웨이브 소자 설계기술 등의 그 외의 다양한 기초기술 등이 요구되기 때문에 기술적 파급효과와 잠재 가능성의 관점으로 볼 때 그 중요성이 강조되고 있다. 외부 광변조기의 개략도는 그림 1과 같다.

광변조기의 동작 원리는 그림 2에서와 같이 결정의 z-축 방향으로 전계를 형성시키면 전기광학 효과에 의해 결정의 유효 굴절률이 변화하게 된다. 전계의 크기에 따라 변화된 유효 굴절률은 전극 아래 광도파로를 따라 진행되는 광의 위상 속도의 변화를 초래하는데, 이로 인해 Mach-Zehnder arm에서 분기된 광이 다른 쪽에서 서로 만날 때 위상차에 의한 광 파워가 변화하게 되고, 적절한 전계값을 인가 할 경우 광 출력은 전체 주파수에 맞춰 변조하게 된다. 광도파로를 따라 진행되는 광의 형성된 외부 광변조기를 구현하기 위해 대표적으로 사용되는 LiNbO<sub>3</sub> 기판은 우수한 전기광학 특성과 저손실 단일모드 광도파로 구현이 용이하여 가장 폭넓게 이용되고 있다.

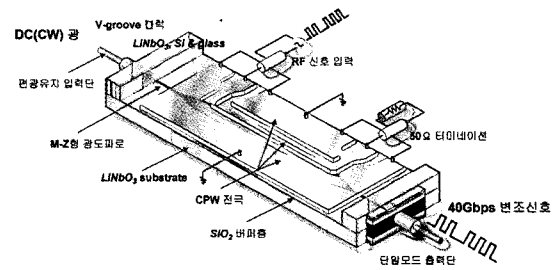


그림 1. 40Gbps급 LiNbO<sub>3</sub> 광 강도 변조기 개략도

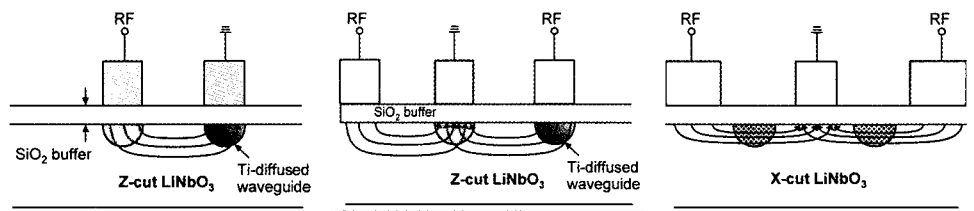
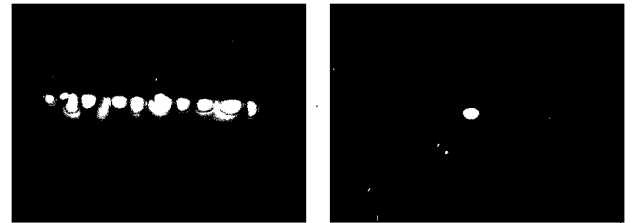


그림 2. 전기광학 광변조기에 이용되는 기판의 결정 방향에 따른 전극 배열.



(a) Li out-diffusion 경우 (b) Li out-diffusion이 억제된 경우  
그림 3. Guiding mode in Ti-diffused LiNbO<sub>3</sub> waveguide.

**- 광도파로 최적화**

Ti 박막 패턴의 고온 분위기 확산에 의해 얻어지는 광도파로는 확산 중에 Li의 out-diffusion으로 인해 기판 표면에서의 굴절률 증가를 야기하고 일종의 slab 형태의 waveguide를 형성해 기생 모드가 생성된다. 따라서 단일 모드 광도파로 형성을 위해서는 확산중에 Li의 out-diffusion을 완전 억제시켜야 한다. 그림 3은 Li out-diffusion이 억제되지 않았을 경우와 억제된 경우를 보여 주고 있다.

**- Ridge형 waveguide**

광대역 임피던스 매칭, 광/RF 위상 정합을 위해 전극과 air의 접촉면을 넓히기 위해 일차적으로 buffer층 에칭을 하게 되는데, 에칭 효과를 극대화하기 위하여 광도파로를 건식 식각해 주어야 한다. LiNbO<sub>3</sub>의 건식 식각은 주로 RIE(reactive ion etching)를 통해 이루어지는데, 건식 식각이 지나치게 느리고 ridge 아래 부분에 식각 잔여물들이 빠져나가지 못하고 LiNbO<sub>3</sub>와 반응을 하여

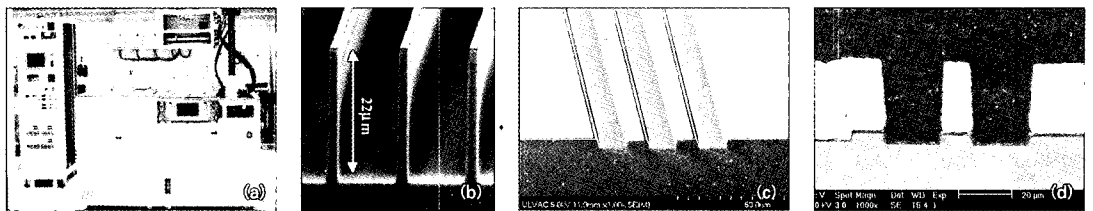


그림 4. KET가 보유하고 있는 고속 건식 식각기 NLD (a), NLD에 의해 형성된 silica wall (b), LiNbO<sub>3</sub> ridge waveguide (c) 및 ridge형 구조의 광도파로 상에 형성된 변조 신호 전극 단면

원하지 않는 phase를 형성하게 된다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 초진공에서 Ar에 의한 건식식각이 일어날 수 있도록 당 센터에서는 NLD를 이용하고 있다. 그림 4는 NLD 사진 및 이 장비의 의해 식각된 모양, 건식 식각에 의해 형성된 ridge형 도파로 상에 plaing된 CPW 전극을 보여 주고 있다.

**- 소자 패키징**

초고속 광소자 개발은 핵심 칩 개발이외에 소자를 구성하고 있는 악세서리 부품 및 이들 부품들간의 connection이 중요하며, 이때 초고주파 특성이 충분히 고려되어야 한다. 초고주파 대역에서까지 RF 전기 신호를 효율적으로 전달하는 데에는 wire 보다 ribbon이 적합하다. 그러나 bonding 거리, connection 방법(ribbon 수, ribbon 거리, ribbon의 bending 구조 등) 또한 기생 캐패시턴스 또는 인덕턴스의 생성을 피하는데 주요한 변수가 된다. 그림 5는 위의 ribbon bonder를 이용하여 연결한 chip-to-chip, chip-to-feeder, feeder-connector의 연결 결과를 보여 주고 있다.

**- 진행파형 CPW (Co-planar Waveguide) 전극의 초고주파 특성**

초고속 신호 인가에 사용되는 CPW 전극의 interaction 영역에서의 감쇄 상수 및 유효 굴절률 값은 정확하게 계산/측정 되어야 한다. 각기 다른 길이의 변조 영역을 갖는 두 전극을 Line connection 형태로 모델링한 후, 측정된 두 소자의 S-parameter로부터 전파손실 및 위상속도를 정확히 산출하는 방법을 고안하였다. 그림 6은 각각 길이  $l_1, l_2$ 를 갖고, 인접하여 제작된 CPW 전극의 개략도 및 그 구성도를 도시한 것이다. 이와 같은 Line connection 모델링으로부터의 정확한 값의 감쇄 및 전파상수 추출할 수 있다.

그림 6(a)의 전극 A가 좌우 대칭적인 특성을 갖는다고 가정할 때, 그림 6(b)와 같이 모델링 할 수 있다. 이를 기반으로, 전극 B는 그림 6(c)와 같이 전극간의 길이 차 ( $DI=l_2-l_1$ )만큼의 추가적인 전송선로를 갖는 line connection으로 모델링 할 수 있고, 측정된 각 전극의 S-parameter [T]와 [R]는 [S]의 term으로 나타낼 수 있다.

제작된 각 전극의 특성은 500 $\mu$ m pitch G-S-G probe와 vector network analyser를 이용하여 다음 그림 7과 같이 측정되었다. 그림 7(a)와 (b)의  $S_{21}$ 에는 작은 dip들이 존재하는데, 이들의 간격이 고주파로 갈수록 촘촘해짐을 볼 수 있다. 이러한 dip의 발생은 기판의 고차모드와의 커플링에 기인하며, 입·출력 영역 및 기판하부구조변화에 의해 억제시킬 수 있다. 그림 7(c)는 주파수에 따른 투과특성의 위상을 측정하여 연속적인 분포로 변환시켜 도시한 것으로, 주파수에 선형적으로 비례함을 알 수 있다.

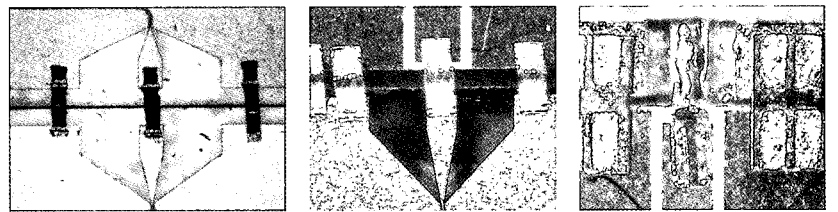


그림 5. Ribbon bonder에 의한 chip-to-chip, chip-to-feeder, feeder-connector의 연결.

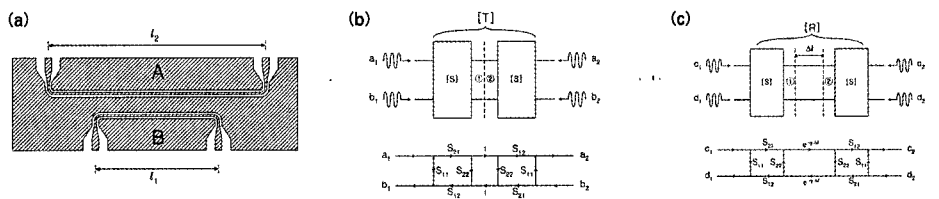


그림 6. CPW 전극 개략도 및 그 구성도 : (a) 개략도 (b)  $l_1$ 의 길이를 갖는 전극의 구성도 (c)  $l_2$ 의 길이를 갖는 전극의 구성도( $DI = l_2 - l_1$ ).

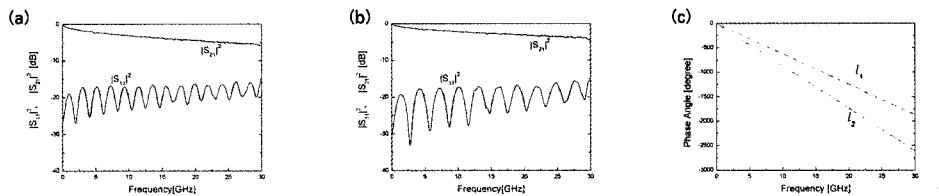


그림 7. 제작된 두 전극의 S-parameter (a) 전극 A의 투과 및 반사 파워 (b) 전극 B의 투과 및 반사 파워 (c) 주파수에 따른 각 전극의 투과특성의 위상변화.

Line connection modeling method의 타당성을 검증하기 위해, 사용된 구조와 같이, 전극 단면을  $\text{LiNbO}_3$  ( $\epsilon_x=43, \epsilon_y=28$ ),  $0.9\mu\text{m}$  두께의  $\text{SiO}_2$  ( $\epsilon_s=4$ ),  $\sigma=30(\text{MS/m})$ 로 측정된  $24\mu\text{m}$  두께의 gold로 모델링한 후 유한요소법을 사용하여 모의전산하였다. 정전계 및 시변자계의 해석을 통해 CPW의 전파손실 및 위상속도를 계산할 수 있다.

위 그림의 측정 결과를 계산된 식에 적용하여 감쇄 및 전파상수를 산출하였으며, 모의전산 결과와 함께 다음 그림 8에 도시하였다. 또한 Noguchi의 계산방식을 적용한 결과를 비교의 목적으로 도시하였다. 그림 8(a)는 감쇄상수를 나타낸 것으로 모의전산 및 각 방식에 의해 계산된 값들이 유사함을 볼 수 있다. 여기서 발생하는 peak와 dip들은 최초 Line connection 모델링에서 고려되지 않았던 고차모드에 의한 M/W 손실이 그 원인으로서, 전극 A와 B가 각기 다른 주파수에서 발생되므로 실제 손실값을 의미하지는 않는다. 여기서, peak의 지점은 전극 A에서의 고차모드 커플링 주파수를, dip은 전극 B에서의 고차모드 커플링 주파수를 나타낸다. 그림 8(b)에는 계산된 유효굴절률이 나타나 있는데, 제시된 방식에 의한 계산결과가 모의전산과 유사한 반면 Noguchi(3)의 계산방식에 의한 결과와는 상당한 차이를 보인다.

### - 제작된 광변조 소자 특성

제작된 샘플들은 입.출력 영역에서 pad size, 입력단에서의 CPW 전극의 g-s-g 간격 기판의 두께, 패키징시의 기판 후면 처리 방법 등등에 의해 RF 전극을 따라 기판 모드 및 기생 모드가 발생할 수 있다. 특정 주파수 이상에서 기판에 발생하는 고차기생모드는 CPW 모드와 상호작용을 하면서, CPW를 통해 최종적으로 출력되는 신호를 왜곡시킬 수 있다. 이러한 고차기생모드의 차단주파수는 기판의 두께에 의해 결정되므로, 입.출력 영역에 어떠한 변화를 주더라도 이러한 기판모드의 생성을 억제시킬 수는 없다. 다만, CPW 입.출력단의 폭을 줄여, CPW 모드와 기판모드간의 중첩도를 저하시킴으로써, 두 모드간의 상호작용(커플링)을 최소화할 수 있다. 그림 10은 패키징된 샘플내에 기생 모드가 존재할 경우와, 최적화를 통해 기생 모드가 제거된 경우의 주파수 특성을 보여 주고 있다. 그림 10(b)의 경우에서 보듯이 최적화된 변조기의 응답 주파수 특성은 40Gbps 변조에 적용 가능함을 알 수 있다.

## 2.1 집적형 편광 제어기(Integrated polarization controller)

편광 제어기란 임의의 편광 상태를 갖는 광을 원하는 편광 상태로 변환해 주는 소자를 일컫는다.  $\text{LiNbO}_3$ 의 경우 전기광학 효과를 이용하여 TI를 확산시킨 도파로 상에 편광제어기를 제작할 수 있으므로 집적화, 소형화된 소자를 얻을 수 있다는 장점이 있다.

### - 집적광학 편광 조절기의 구조 및 동작원리

그림 11(a)는 전기광학효과를 이용하는 위상천이(phase shift)기 3개를 조합하여 x-cut  $\text{LiNbO}_3$ 에 z축 방향으로 광이 진행하도록 배열시킨 집적광학 편광조절기의 개략도이며, 각 위상천이기에 대한 인가전압과 전계분포는 그림 11(b)와 같다. 각각의 위상천이기는  $\lambda/4, \lambda/2, \lambda/4$  wave-plate로 동작되도록 설계하였다. 각 wave-plate의 전극 구조로부터 그림 11(b)와 같이  $E_x(Vc)$ 와  $E_y(Vs)$ 의 전계(electric field)가 형성되며, 전자는 TE-TM 간의 위상천이, 후자는 TE $\leftrightarrow$ TM 모드 변환을 각각 일으킨다.

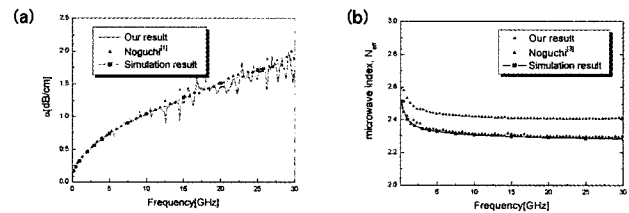


그림 8. 산출된 감쇄상수 및 유효굴절률 (a) 감쇄상수 (b) 유효굴절률.

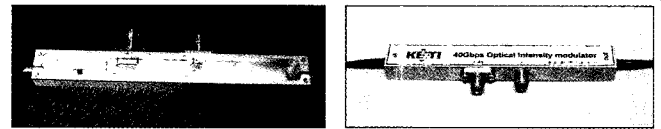


그림 9. 제작된 40Gbps 광변조기 허우징 내부(왼쪽)과 패키징(오른쪽) 모습.

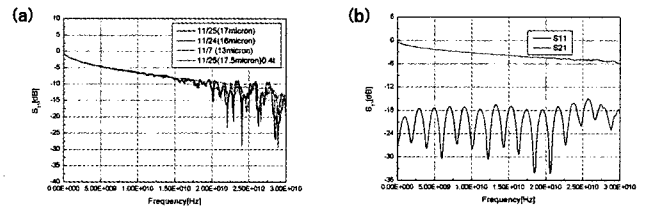


그림 10. 패키징된 40Gbps 광변조기의 주파수 응답; (a)기판모드 비역제, (b) 기판모드 억제.

그림 12는 PCB 기판상에 장착되어 편광 제어기의 전극과 PCB 전극이 wire에 의해 bonding 되어 있는 패키징용 샘플과, 하우징 내부에 장착되어 외부 전극 핀과 연결된 편광 제어기의 내부 모습을 보여주고 있다.

- 동작 특성 측정

그림 13는 전압  $V_S$ 를 변화시켰을 때 출력되는 광의 편광특성을 Poincare Sphere상에서 시간의 변화순서로 도시한 것이다. 그

림 13(a)와 같이 최초의 편광상태를 Poincare Sphere의 적도에 위치한  $45^\circ$  선형편극에 위치시킨다. 이 때,  $V_S$ 를 증가 또는 감소시킴에 따라 Poincare Sphere의 위도를 따라 편광의 변화가 일어나는데, 이는 수직편극과 수평편극간의 위상차 변화를 의미한다. 위상차가  $90^\circ$ 에 이르면 그림 13(b)와 같이 Poincare Sphere의 북극 즉, 원편광을 출력하게 된다. 반대로  $V_S$ 를 감소시키면 그림 13(c)와 같이 위도를 따라 남반구로 이동하게 된다. 이러한 결과로부터 인가전압의 변화를 통해 출력광의 편극간 위상차를 제어할 수 있음을 알 수 있다.

그림 14(a)는 Half Wave Plate의 특성을 갖도록 전압  $V_c = V_0 \sin a$ ,  $V_s = V_T + V_\pi \cos a$ 로 프로그래밍한 후  $a$ 의 변화에 따른 출력광의 편광특성을 시간의 변화로 도시한 것이다. 그림 14(a)와 같이 초기의 출력편광을 어떠한 편광에서도 원편광을 중심으로 회전하는 것을 확인할 수 있다. 그림 14(b)는  $a$ 를 고정시킨 상태에서 전압  $V_c$ ,  $V_s$  각 전압의 비례상수  $A$ 를 변화시킬 때 나타나는 출력광의 편광특성을 도시한 것이다. 초기의 출력편광을 Poincare Sphere상에 임의로 위치시킨 후,  $A$ 를 변화시키면 그 출력편광특성은 적도상의 한점을 중심으로 회전하게 된다. 이러한 특성은  $\text{LiNbO}_3$ 의 전기광학효과를 이용해 Wave Plate를 구성할 수 있음을 입증하는 결과이기도 하다.

2.2 NIR/MIR 파장 변환 레이저를 위한 주기적 분극 반전 소자

최근 인간 유전자 지도의 완성과 함께 DNA, protein 등 생체물질에 대한 비밀이 하나 둘씩 벗겨지면서 바이오 분야의 관심이 지대하게 증대되었고, 현재 인류 미래의 행복을 쥐고 있는 열쇠는 광범위한 바이오 현상의 메카니즘 규명과 이와 관련된 신약 개발로 여겨지고 있다. 이 결과(레이저)광학을 접목시킨 Bio-optics, Nano-optics, Medioptics(medical + optics), Bio-optonics

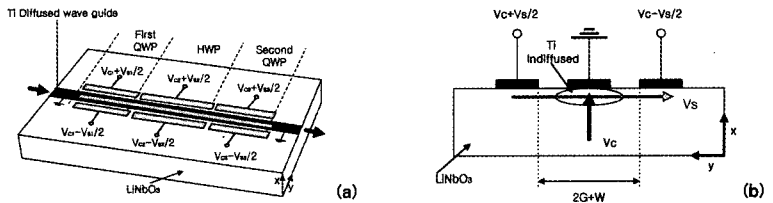


그림 11. (a) Ti:LiNbO<sub>3</sub>의 전기광학효과를 이용한 집적광학 편광 조절기의 구조, (b) 각 wave-plate에 배열된 전극구조 및 전계분포.

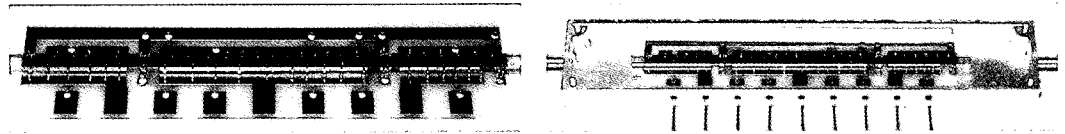


그림 12. PCB 기판 전극과 편광제어기 전극간 wire bonding되어 있는 패키징용 샘플(왼쪽)과 하우징 내부에 장착되어 외부 전극 핀과 연결된 편광 제어기의 내부 모습(오른쪽).

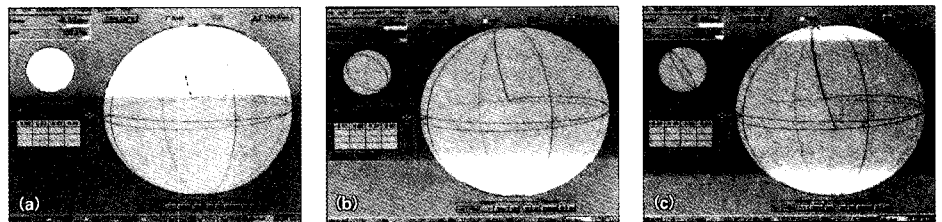


그림 13. 인가전압 변화에 따른 출력편극간의 위상변화.

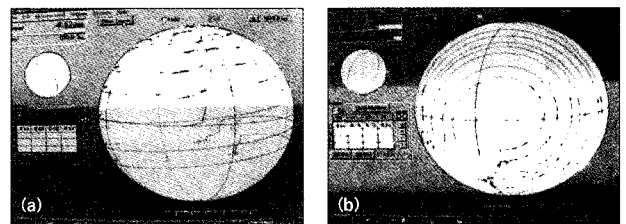


그림 14. 기준각도 a의 변화에 따른 출력편극간의 편극변화 (a)와 전압 비례상수 A의 변화에 따른 출력편광의 변화 (b).

(bio + optics + electronics), Bios(Biomedical optics) 등의 신융합기술 분야가 등장하기에 이르렀다. 레이저 광학 자체는 전통 기술로 분류할 수 있으나, 바이오, 환경, 화학, 통신 등의 분야와 융합되기 위해서는 기존의 전통 기술로는 구현 불가능한 소형, 집적형의 형태를 가져야함과 동시에 NIR(근적외), MIR(중적외) 영역 내에서 자유롭게 파장 가변이 가능한 새로운 차원의 레이저 광원의 개발이 새로운 이슈로 등장하기에 이르렀으며, 전 세계적으로 이러한 목적에 부합하는 레이저 광원 개발을 위해 다양한 각도에서의 연구를 대규모로 진행 중에 있다.

NIR/MIR 레이저 개발 및 이의 소형화, 집적화는 직·간접적으로 의료, 바이오, 환경 산업의 신간지를 개척해 낼 뿐만 아니라, 현재 레이저가 아닌 광대역 파장 램프를 이용해 얻어내고 있는 일체의 분석 시스템 등도 새롭게 대체할 수 있을 것으로 기대되며, 미래에 다양한 방식으로, 특히 의료 기술의 향상, 인류복지에 기여할 것이다. 환경적 측면에서는 자원효율을 증가시키고 폐기물 절감이나 상품주기의 확장과 같은 편익을 가져올 수 있다. 그 외 환경 분야에 있어 그림 15에 예시되는 바와 같이, 대기 오염 실시간 원격 진단, 휴대형 자동차 배출 가스 검사, 공업 지역 배기 가스 검사 등을 비접촉/원격 모니터링하기 위해 가장 적합한 기술이 광(레이저)를 이용하는 것이고, 이들 고분자 배출물 검출에 가장 적합한 파장이 NIR/MIR(근적외/중적외) 영역이다.

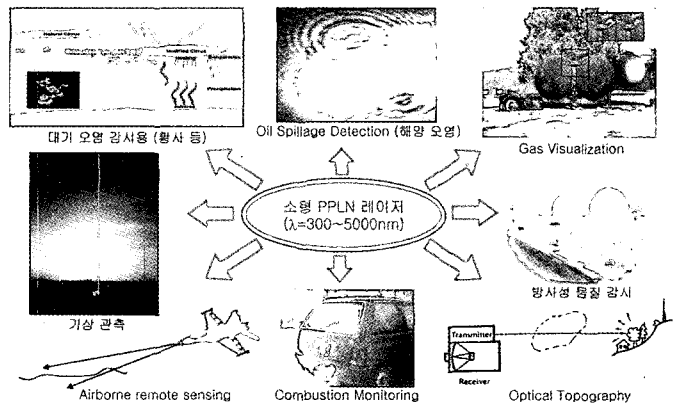


그림 15. 환경 분야에 있어서 NIR/MIR 레이저의 응용 가능 영역.

### - NIR/MIR 파장 가변 레이저를 위한 주기적 분극 반전

최근, 비선형 결정내에서 진행되는 광과 파장 변환되는 광의 위상속도 정합(QPM, quasi-phase matching)을 위해 LiNbO<sub>3</sub> 결정의 분극 도메인 간격을 주기적으로 반전시키는 PPLN(Period Poled Lithium Niobate)을 제작하여 SHG (Second Harmonic Generation), OPO(optical parametric oscillation)와 같은 파장 가변소자로써의 응용 연구가 진행되어지고 있다. 주기적 도메인 반전은 국부적인 영역에서의 핵생성(Nucleation Site Generation), 핵의 성장(Nucleation growth) 및 주기적 도메인 형성(Domain Wall Increasing)으로 구분될 수 있다. 핵생성, 핵의 성장 및 주기적 도메인 형성 공정을 정밀하게 제어하기 위해서는 LiNbO<sub>3</sub> 웨이퍼에 가해지는 전압 프로파일의 정밀제어가 가장 중요하며 시스템의 특성 또한 이에 의해 결정될 수 있다.

전압 프로파일의 정밀 제어는 시간축과 Voltage Amplitude 두개의 변수에 대한 정밀 제어를 요구한다. 핵생성과 성장의 경우  $\mu$ s 시간 제어가 필요하며 주기적 도메인 형성의 경우 ms 시간 제어가 필요하다. 또한 Voltage Amplitude의 경우 0.5% 미만의 정밀제어가 필요하다.

Duty cycle 50%, 분극 주기의 uniformity, bulk 내부에서의 분극 주기 검침 억제, 패턴으로 사용된 PR 높은 전기 저항성, 전해액의 전기전도도, 분극 형성을 위한 균질의 핵생성 등을 위해, 최적화된 공정과 분극 지그 그리고 컴퓨터 제어 분극 프로그램을 이용하여 분극을 수행하였다. 그림 16은 분극용 지그와 분극 후 전단된 칩 단면을 보여주고 있다. 분극이 수행된 표면뿐만 아니라 결정 내부까지도 균일한 형태의 분극 반전이 주기적으로 이루어졌음을 알 수 있다.

Bulk PPLN을 이용해 레이저 소자를 제작할 경우 칩과 pump 광원의 정렬이 필요하므로, 휴대형 레이저 제작이 어렵게 된다. NIR/MIR 레이저 모듈의 소형화, 비선형 효율

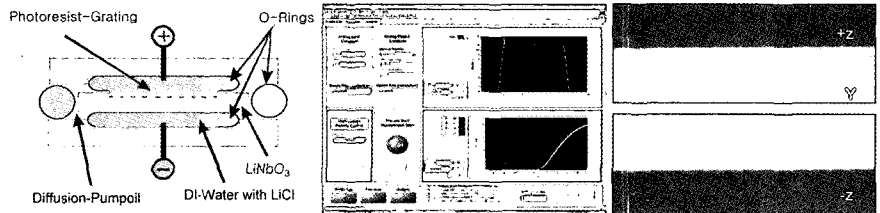


그림 16. Poling용 지그, poling 프로그램 및 주기적 분극 반전 후의 LiNbO<sub>3</sub> 칩 단면 사진

의 극대화를 위해 pump 광을 좁은 면적에 집중시킬 필요가 있다. 그림 17은 광대역 파장 가변을 위해 다채널 광도파로 상에 각기 다른 주기를 가지는 집적형 PPLN의 모식도와 광도파로형 PPLN의 사진을 보여 주고 있다.

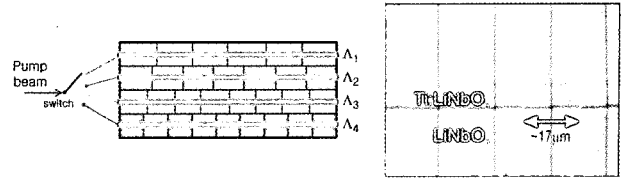


그림 17. 집적형 다채널 파장 가변 레이저 모식도(왼쪽) 및 광도파로 집적형 PPLN(오른쪽).

그림 18은 다채널 광도파로형 PPLN에서 분극 주기의 변화와 온도 변화에 따라 변환된 레이저 파장의 변화를 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 multi-channel waveguide PPLN을 사용하여 하나의 칩으로 1,000nm 이상의 가변 범위를 가지는 NIR/MIR 레이저 광원을 제작할 수 있음을 알 수 있다.

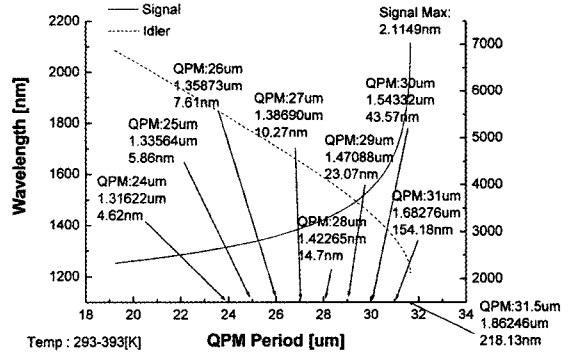


그림 18. QPM 주기에 따른 OPO에 의해 생성되는 signal 및 idler 파장과 100℃ 온도에 의해 가변되는 파장의 범위(사용된 pump 광원은 1060nm).

## 수동형 집적 광소자 기술

### 3.1 실리카 광소자

PLC(planar lightwave circuits) 기술은 광통신에 응용되는 소자의 제작에서 대량생산과 저가격화를 위하여 가장 많이 연구되는 기술중의 하나이다. 이러한 기술을 이용하여 광신호를 분할 및 합해주는 광분배기나 합파기, 파장을 분리 및 결합시켜주는 MUX/DEMUX, 신호를 주고 받을수 있는 양방향 광트랜시버, 광신호를 스위칭 할 수 있는 기능의 광스위치, 광의 출력 세기를 변환시켜주는 광감쇠기 등 다양한 구조의 광소자를 구현할 수 있다.

PLC 기술중에서도 실리카 기술을 이용한 광도파로는 Si 기판에 Si 전하회로를 집적할 수 있으며 Si 기판을 산화시킨 Thermal Oxide를 도파로 지지층으로 쓸 수 있고, 광섬유 연결에 실리콘 V-groove를 이용할 수 있는 점과 열광학 효과를 이용하여 스위칭이 가능하며, 반도체 레이저의 hybrid package에 큰 열전도율의 Si를 heat sink 로 이용할 수 있는 장점이 있다. 따라서 실리카 도파로 소자는 최근 광통신용 광집적회로의 재료로서 많은 연구가 되어오고 있다. 실리카 수동 광도파로 소자는 FHD(Flame Hydrolysis Deposition: 화염 가수분해 증착법), CVD(Chemical Vapor Deposition : 화학기상 증착법), 이온교환법(Ion Exchange), Sol-gel 증착법, AFD(Aerosol Flame Deposition), sputtering 등에 의해 만들어진다. 그중 FHD법은 증착 속도가 0.5 - 1um/min 정도로서 수 십um의 두께를 요하는 실리카 광도파로의 제작에 효율적인 방법으로 알려져 있다. NTT 및 AT&T의 실리카 수동광집적회로 연구는 다양한 회로들이 집적된 고기능 광회로 개발단계로 넘어가고 있으며, 현재는 1.3/1.55 um WDM소자, 144 x 144 star coupler, Programmable optical frequency filter, 16x16 matrix switch, WDM 주파수 선국소자, Dispersion equalizer, Delay generator, Optical Add-Drop

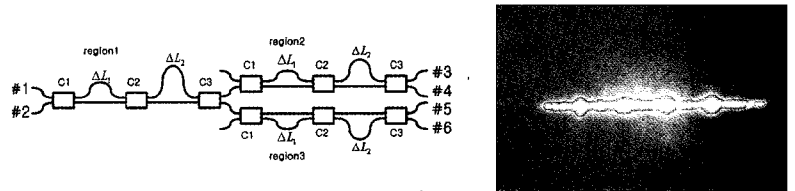


그림 19. 4채널 CWDM 광도파로 소자의 구조 및 제작된 4채널 CWDM 출력광.

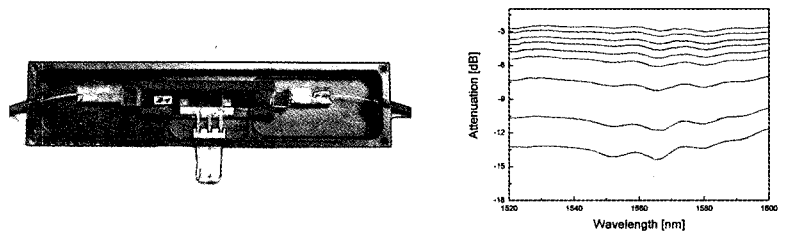


그림 20. 가변 광감쇠기 내부구조와 작동 파장영역에서의 감쇠 특성

Multiplexer 등의 다양한 통신용 광회로 소자들이 연구, 제작되고 있다. 본 센터에서도 실리카 광도파 기술을 이용하여 광감쇠기 및 도파로형 CWDM을 연구 개발하였다(그림 19-20 참조).

또한 광집적화 기술에 있어서 그 역할의 중요성이 커지는 코어와 클래드의 고밀화 박막층차 밀도를 높이는 연구를 수행하였고 최종 개발 목표인 코어와 클래드간의 굴절률 차 2%인 PLC 평면광도파로 기능 샘플을 제작하였다. 세부적으로 그 내용을 살펴보면 먼저 일직선인 채널형 광도파로와 도파로로 구성된 광소자 제작에 있어서 기본원리가 되는 Y-branch를 설계하여 BPM-CAD로 특성을 분석하였다. 이러한 설계를 바탕으로 FHFD를 이용하여 실리카 도파로 박막을 제작하였다. 코어와 클래드의 상대적인 굴절률 차가 1, 1.5, 2%인 박막을 제조하였으며 공정안정성 확보를 위하여 미립자 증착에 영향을 미치는 torch와 turntable의 속도, 기저물질에 대한 MFC를 정밀 제어하였다. 채널 도파로를 형성하기 위해서 ICP공정기술에서는  $CF_4/CF_3$  두 혼합가스를 이용하여 8.9m로 식각한 도파로의 측면 거칠기가 0.1m 이하인 공정기술을 수행하였다. 향후의 연구방향은 개별적인 실리카 광소자연구방향에서 한층 upgrade된 그림 21과 같이 실리콘 기판위에 실리카 광도파로와 테라스구조의 PLC플랫폼위에 LD, modulator, AWG, PD, driver IC 등을 기판위에서 집적화하는 하이브리드 광집적화 기술과 더 나아가서는 그림 21에 도식되어 있는 바와 같이 실리콘을 이용한 레이저와 실리카광도파로 모놀리딕 집적화기술에 관한 연구를 수행을 목적으로 하고 있다.

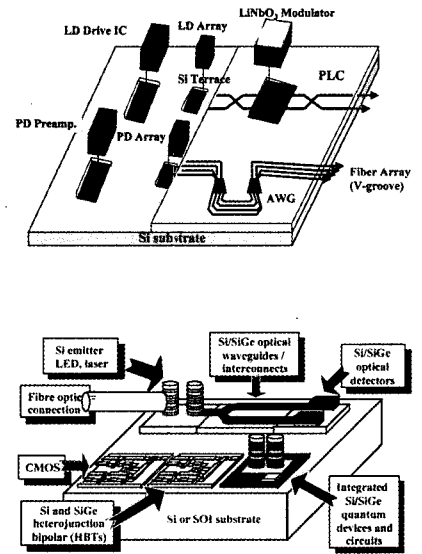


그림 21. 하이브리드 집적화 PLC 및 광 집적화기술을 이용한 모듈과 개발기술 개략도.

### 3.2 광 PCB 기술연구

PCB(Printed Circuit Board)는 컴퓨터, 자동차, 휴대폰, 디지털 전자기기 등 대부분의 산업에 응용되고 있다. PCB는 전기 절연성 재료의 표면에 도체회로를 형성시킨 것으로서 전자부품이 실장 되지않은 상태의 인쇄회로 기판을 일컬으며, 기판상에 각종 전자부품들을 실장하여 전기적으로 연결을 하여주고, 이들을 기계적으로 고정시켜주는 역할을 한다. PCB는 절기절연성 재료의 표면에 도체회로를 형성시킨 것으로 전자 부품을 탑재하기 직전의 인쇄 기판이고, 반도체가 인체의 두뇌라면 PCB는 인체의 신경에 비유될 수 있다. PCB의 종류로는 층수, 원자재, 용도별 등에 따라 구분되며, 층수로는 단면, 양면, 다층으로 나누고, 원자재로는 경성과 연성으로 나누며, 용도별로는 빌드업 PCB(휴대폰용), 통신용, PC용, 모듈용, 자동차용 등으로 분류되며 휴대폰, 디지털TV 등 디지털 전자기기에 핵심 역할을 하는 필수 부품으로 우리나라가 일본, 미국, 중국, 대만에 이어 세계 5위의 생산규모를 가지고 있다. 이렇게 다분야에 사용되는 PCB는 기능성에 있어서 많은 장점이 있지만 정보의 고속화와 대용량화됨에 따라 PCB의 일반기능이 한계점에 직면하고 있다. PCB 기반의 전기배선 시스템은 전송속도의 한계와 전기 선로간의 누화 특성 및 실장 밀도의 제약, EMI/EMC 등의 영향으로 인한 대용량 고속 전송의 한계를 갖는 영향으로 인하여 급격한 인터넷 사용에 따른 전송 및 교환 시스템의 대용량화, 고속화 및 고밀도화의 추세에 대응하기 어려운 점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 PCB에 광 기술을 접목하여 전송속도와 전송용량을 높이는 기술이 대두되고 있다.

나노광전소자 연구개발센터에서는 산업자원부 부품소재기술개발의 일환으로 (주)루벤틱스와 함께 광배선용 광도파로의 연마 및 환경분석기술개발을 하고 있다. 센터에서의 10년간 광부품을 제작하여 온 기술과 신뢰성 센터의 PCB관련 제품의 신뢰성 및 환경분석기술과 접목하여 기술발전을 해오고 있다. 광도파로 기술 관련하여  $LiNbO_3$  광도파로제작과 Silica 광도 파로를 제작하

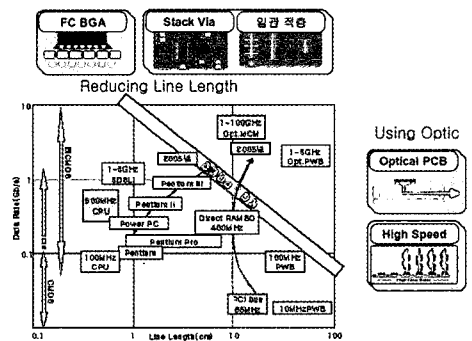


그림 22. 데이터 속도의 변화와 PCB의 개발방향.



여 왔으며 광도파로의 연마 및 광소자 및 모듈의 환경시험에 다양한 환경기술을 축적해가고 있다.

### 3.3 광 fiber 센서 기술

광섬유 센서는 외부에서 광섬유에 가해지는 물리량인 온도, 압력, 전기장, 자기장, 회전 화합물질의 농도, 기계적인 움직임 등에 의해 광섬유속을 진행하는 빛에 유도되는 여러 가지 특성인 세기, 위상, 편광, 파장의 변화를 감지함으로써 그 기능을 수행한다. 광섬유센서의 장점으로는 전기가 통하는 전도체가 없어 주변에서 발생할 수 있는 전자파 장애에 의한 잡음이 없고, 전기적인 접지, 누전, 감전 등의 영향이 없으며, 전기가 통하는 전도체가 없어 주변에서 발생할 수 있는 전자파 장애에 의한 잡음이 없고, 전기적인 접지, 누전, 감전 등의 영향이 없고 파장이 매우 짧은 빛을 기준으로 측정하게 되어 매우 높은 감도를 보장한다. 또한 광손실이 적고 정보전송 대역폭이 넓어 여러 개의 센서를 한가닥 광섬유에 연결 동시에 측정할 수 있는 배열형 센서가 가능하며 수십 km 떨어진 곳에서도 원격측정이 가능하다(그림 23). 특히 위치량에 따른 물리량의 분포를 측정하는 분포계측이 가능하여 전자레인지 내부, 환자혈액의 실시간 모니터링, 고온다습 고압력의 환경, 폭발위험이 있는 환경전자파 장애가 많은 환경과 발전소, 변전소, 전기용접 등이 이루어지는 공장 등 기존의 기술로는 센서의 동작이 불가능한 환경에서도 사용할 수 있다.

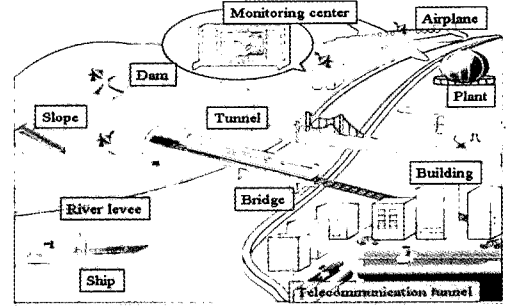


그림 23. 광fiber 센서의 응용 사회구조물 모니터링 시스템 예시도.

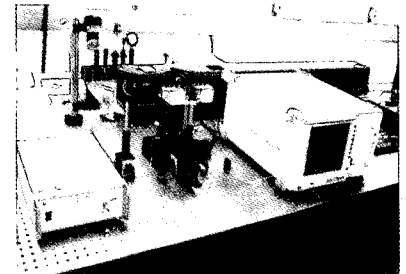
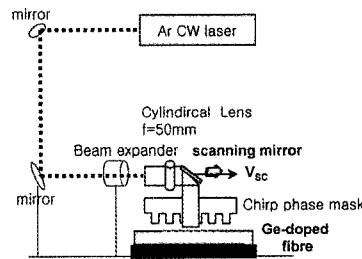


그림 24. Ar CW레이저의 구성도와 광섬유센서 필터 제작 실험도.

국내 광섬유센서시스템의 개발은 광섬유격자 필터나 페브리페로 간섭계 방식을 이용하여 주로 학교나 연구기관 등에 의해 주도적으로 연구되어지고 있고 연구 성과면에서 보면 많은 결과들을 산출해왔지만, 하나의 완성된 제품 또는 사업화 측면으로 볼 때 그 성과가 기대에 미치지 못하여 아직까지 국내 광섬유센서시스템으로서의 뚜렷한 결과를 도출해 내지 못하고 있는 실정이다. 본 연구센터에서는 excimer레이저와 Ar CW 레이저를 이용하여 광섬유센서용 필터소자를 제작하여 왔다. 그림 24는 광섬유 격자 제작과정을 보여주고 있다. 그림 25는 제작된 센서용 FBG 필터와 필요에 따라 온도 보상이 필요할 경우에 적용할 수 있도록 연구에서 수행한 환경시험 개략도와 보상특성을 나타내었다.

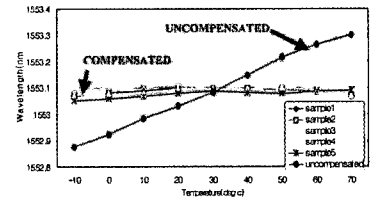
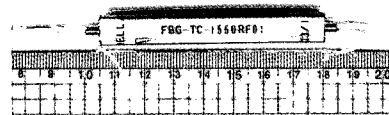


그림 25. 제작된 FBG 광센서용 필터와 온도보상패키지후의 광섬유필터특성.

## 유전체 광학 박막 기술

### 4.1 서론 및 개요

광학박막 기술은 입사하는 빛이 다층박막을 통과할 때 발생하는 간섭(interference)현상을 이용하여 적용 용도에 맞는 사양을

갖는 다층박막을 제작하는 설계, 제작, 가공 및 측정기술을 의미한다. 다층박막에서 발생하는 광학적 현상은 박막 계면(interface) 간의 빛의 다중반사(multi-reflection)의 간섭의 결과로 나타나며, 박막의 두께와 굴절률의 변화에 따른 다양한 간섭 효과를 이용하여 원하는 광학특성(파장에 대한 반사 및 투과특성)을 갖는 광학박막을 제작하여야 한다.

다층박막에 사용되는 박막물질로서는 사용용도에 따라 금속박막과 유전체 물질이 사용되나, 반사 혹은 투과특성을 이용하는 많은 광학·전자기기 및 광학부품에 적용되는 광학박막의 경우 유전체물질을 박막물질로 사용하며, 고굴절율 물질로는  $TiO_2$ 와  $Ta_2O_5$ , 저굴절율 물질로는  $SiO_2$ 와  $MgF_2$  등이 일반적으로 사용된다. 굴절률과 두께가 다른 여러 층의 박막을 교번하여 적층하여 구성되는 다층 광학박막의 경우 다양한 광학특성을 가질 수 있으며, 일반적인 구조는 1/4 광학파장 두께(QWT: Quarter Wavelength Thickness :  $\lambda/4n$ )를 기본으로 한 파브리 페로 에텔론 구조와 non-QWT를 기본으로 하는 다층박막 구조가 많이 사용된다. 고반사 미러나 대역투과 필터 등 광통신용 광학소자의 경우, 다층박막의 일반적인 구조는 1/4 광학파장 두께를 기본으로 한 파브리 페로 에텔론 구조가 많이 사용되고 있으나 최근 광중계기용과 광학기기에서 적용되는 2개 이상의 투과 대역폭을 갖는 다중 대역투과(multi-bandpass) 필터는 non-QWT를 기본으로 하는 다층박막 구조를 기본으로 한다. 다층 광학박막은 사양에 따라 수십 층에서 수백 층의 박막층으로 구성되어 물리화학적 박막 두께가 최고 수십  $\mu m$ 까지 적층되는 첨단 고정밀 설계 및 공정 제어 기술이 요구되며, 사양을 만족하는 최소한의 박막층수를 갖는 구조 설계, 각 박막층에 대한 정확한 두께제어 및 공정 변수의 최적화를 통한 박막제작기술, 상용화를 위한 가공 및 평가가 핵심기술이다.

## 4.2 핵심 공정 기술

다층 광학박막 설계기술은 매질에 빛이 전파할 때 진폭, 위상 변화와 간섭현상을 고려하여 박막물질의 특성(굴절률)과 구조(두께, 층수, cavity 구조)를 변수로 한 박막구조를 설계함으로써 원하는 반사/투과 특성을 결정하는 과정으로 원하는 기능과 사양에 따른 설계구조 설정과 구조에 대한 전달함수(Transfer Matrix)를 적용하여 설계의 최적화하는 S/W 운용 기술이 요구된다. 특히 각각의 박막층이 전체 광학박막의 광특성에 영향을 주는 정도를 의미하는 에러 민감도(error sensitivity)와 에러 범위에 따른 광특성 변화 분석은 제작공정 중 가장 정밀하게 제어되어야 하는 박막층의 선택과 공정시의 에러 허용치(error tolerance)를 예측할 수 있어 공정 전·후에 반드시 검증하여야 한다(그림 26 - 27).

광학박막 제작공정은 수십에서 수백 층의 다층 광학박막 제작 시, 각 박막층에 대한 두께 제어 및 공정 변수를 최적화하는 기술로써 비접촉식 광학두께 제어기술과 기판 온도제어 기술 등의 공정기술이다. 본 연구센터에서 보유한 공정 방식은 이중 이온빔(dual ion-beam),  $SiO_2$ 와  $Ta_2O_5$  타겟(target), 1200rpm으로 회전하는 12인치의 기판, 광학 비접촉식 박막두께 제어 시스템(OMS : optical monitoring system)으로 구성된 DIBS(dual ion beam sputtering) 방식이다. 16cm RF 이온총에서 조사된 이온빔은 타겟 물질을 스퍼터링하여 기판에 박막을 형성하며, 12cm RF 이온총에서 조사된 이온빔은 형성되는 박막을 더욱 조밀하게 만드는 보조 이온빔으로 사용된다(그림 28 참조). 16cm RF 이온총에서 사용되는 이온화 가스는 아르곤 가스이며, 12cm RF 이온총에서 사용되는 이온화 가스는 아르곤과 산소의 혼합 가스이다. 타겟 물질은 지름이 14 인치인 원형의 탄탈륨(Ta, 99.95%)과 실리콘 옥사이드( $SiO_2$ , 99.995%)를 사용하였다.  $Ta_2O_5$ 는 탄탈륨에 비해 증착률이 낮기 때문에 100층 이상의 다층으로 이루어져 증착에 오랜 시간이 요구되는 협대역 투과용 광학박막 필터의 경우 Ta를 사용하는 것이 유리하다. 또한 선평이 매우 작은 파장 가변 레이저와 광세기 검출기, 신호처리기로 구성된 비접촉 광학 두께 제어 시스템은 증착 물질의 1/4 파장 광학박막 두께를 정확하게 제어할 수 있다. 또한 공정 중 각 박막층의 굴절률 변화, 기판 및 광학두께 변화를 최소화하기 위해 증착공정 중 실시간으로 공정 온도제어를 위해 비접촉식 열감시 제어장

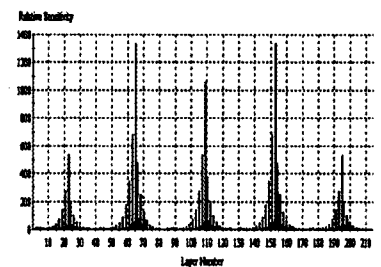


그림 26. 에러 민감도분석.

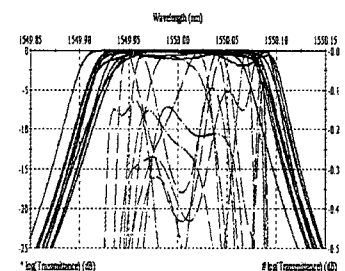


그림 27. 에러 허용치 분석.

치를 이용하여 공정온도를 수 ℃이하로 안정화시켰으며 이에 따라 QWOT 박막구조에 대한 두께제어의 특성을 향상시켜 광학박막 두께에 대한 공정 에러를 최소화 하였다. 상기 공정 방식을 이용하여 DIBS와 SIBD에 의해 제작된 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 단일박막에 대한 구조와 SiO<sub>2</sub>와 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>로 제작된 DWDM용 200여층의 다층 광학박막에 대한 구조를 그림 29에 도해하였다.

광학박막을 부품화하기 위한 광학정렬 및 광패키징 방법으로서 기존의 수작업에 의한 방식이 아닌 패키징 공정변수를 정량화를 통한 광학정렬 및 패키징 자동화를 구현하였다. 먼저 기존의 소자들의 구조를 개선하여 각 구성품의 접합 최소화를 통한 일체형 단위소자의 설계를 하였으며 유한요소해석에 의한 제안된 일체형 단위소자의 구조의 피로특성을 분석하였다. 광패키징 시 공정변수를 정량화하기 위해 고주파 가열방식에 의한 솔더링 접합을 채택하였으며 솔더링 시 솔더 프리폼의 정량화, 필터홀더에 미치는 온도 분포와 스트레스 분석, 을 통해 공정의 최적화를 확립하였다. 특히 솔더링 공정 변수를 정량화하기 위한 고주파 방식의 패키징 방식은 솔더링 후 솔더의 비대칭적인 균일성에 의해 발생하는 기계적 스트레스에 의한 제품의 특성 및 신뢰성 저하를 크게 줄일 수 있다. 그림 30에 고주파 가열기로 솔더링을 할 경우와 기존에 수작업으로 솔더링을 수행 할 경우의 접합외관 상태를 비교하였다. 외관에서 알 수 있는바와 같이 수동에 의한 솔더링의 경우는 솔더링의 양과 형상을 조절할 수가 없으며 솔더의 분포가 비대칭적으로 일정하지 않고 원치 않는 접합면까지 솔더링 분포가 확대되어 한쪽방향으로 응력이 집중되기 때문에 솔더링에 의한 손실변화가 예상된다. 반면, 고주파 방식에 의한 솔더링의 경우는 솔더링 후 형상이 매끄러우며 솔더의 분포가 상대적으로 대칭으로 응력의 분포가 균일하여 응력집중을 제거할 수 있으며 각 부위별 솔더의 양을 결정할 수 있어 솔더링에 의한 손실을 최소화 할 수 있어 제품의 신뢰성과 특성의 균일성 그리고 생산성 향상에 매우 우수한 특성을 갖는다.

## 4.2 연구개발 동향

안경 및 광학기기에서 적용되는 무반사 혹은 고반사 미러 등과 같은 전통적인 광학박막을 제외한 근래의 다층 광학박막은 광통신용, 반도체용, 광학기기용, 디스플레이용 등 관련 분야에서 응용분야를 확대하고 있다. 광통신 분야에서 다장분할 다중화용 광부품 (광트랜시버용 WDM Filter, CWDM Filter, DWDM Filter), 파장잠금장치(Wavelength Locker), 이득 평판화용 광부품 (GFF: Gain Flattening Filter) 등의 광학박막이 장거리망 및 가입자망 그리고 광중계기에 가장 폭넓게 적용되고 있으며, 노광장비용 UV 투과대역 필터와 디지털 TV 및 projection TV 등 디스플레이용 optical engine 그리고 광학현미경 분야의 optic cube에 대한 적용을 확대하고 있다.

향후 연구 개발 영역은 기존의 특정한 박막두께를 갖는 QWOP 구조의 광학박막 구조가 아닌 Non-QWOT 구조의 광학박막을

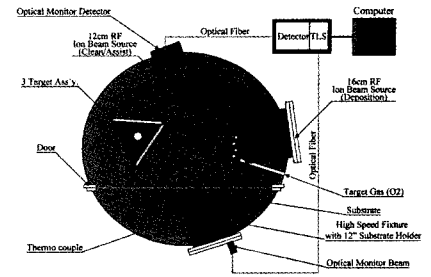
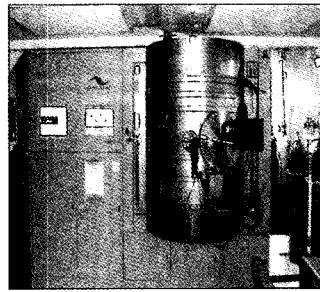


그림 28. Dual Ion Beam Sputtering System과 구성도.

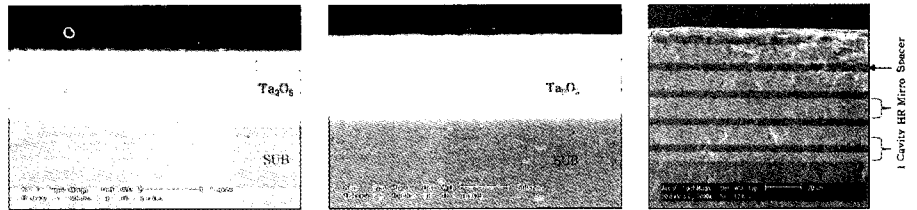


그림 29. (a) SIBS와 (b) DIBS에 의한 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 단일박막 (c) DWDM용 다층박막의 구조.

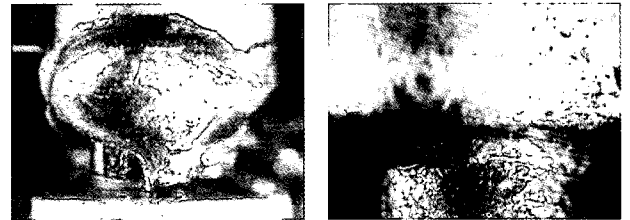


그림 30. 고주파 가열기에 의한 솔더링과 수동에 의한 솔더링의 비교.

이용하여 두개 이상의 투과 대역을 갖는 다중파장 투과대역용 광학 박막에 대한 연구가 필요하다. 예를 들어 광중계기 혹은 현광현미경에 적용되는 두개 이상의 투과대역을 갖는 광학박막 필터의 경우, 각각의 박막층 두께가 다른 광학박막의 구조로서 설계 및 공정의 난이도가 매우 난해하여 국내의 개발 및 생산이 전무하며 전량 국외의 수입에 의존하는 실정으로 이에 대한 연구 개발이 요구된다.



그림 31. MBE(Molecular beam Epitaxy)장비.

## 나노 광전 광검출기 기술

### 5.1 초고감도 광센서 기술

주요 연구분야로는 크게 III-V족 화합물 반도체(GaAs, AlAs, InP, InGaAs, AlGaAs 등)를 이용한 적외선 대역 나노 광소자 및 전자소자, CMOS 및 SOI CMOS를 이용한 이미지 센서기술로 나눌 수 있다. GaAs 계열 화합물 반도체는 분자선 박막 형성장비인 MBE를 이용한 나노 고품위 박막 형성 기술, 나노구조 형성(패터닝 및 re-growth), Bandgap engineering을 이용한 에피구조 최적화 설계, 나노선(양자선) 및 나노점(양자점) 형성기술, 수광감도 향상기술, 극저온 측정기술, 적외선 photo-FET 기술 분야의 연구를 수행하고 있다. 본 연구센터에서는 자체 MBE (그림 31)을 이용하여 최적의 성장조건 및 박막 구조에 대하여 상온 및 액체질소 온도(77K) 에서 각각 8,000 및 183,900cm<sup>2</sup>/V·sec의 최대 이동도 (@4 K; ~ 2,325,581cm<sup>2</sup>/V·sec)를 갖는 세계적 수준의 고품질 · 고이동도 2DEG 구조 성장기술을 보유하고 있다(그림 32 - 33 참조).

InP 계열 화합물 반도체는 주로 1.1~1.7um 대역의 고감도 적외선 수광소자 구조를 연구개발하고 있으며, 구체적으로 감도 향상을 위한 에피구조 설계 기술, Medici/Taurus Tool을 이용한 소자 시물레이션기술, 공정기술, 초정밀 측정기술, 어레이 신호처리회로 설계기술(CMOS ASIC) 등을 연구하고 있다. 본 센터에서는 300nm~2000nm까지의 넓은 파장대에서, 상온에서 10K 저온까지, 웨이퍼 및 소자레벨에서, 10fA까지의 극미세 전류를 측정할 수 있는 국내 유일의 특수 제작된 광전 정밀 측정 장비를 보유하고 있다.

최근 개발된 Heterojunction phototransistor 소자(그림 34)는 기존의 수광소자 대비 수십~수백배 이상 뛰어난 수광감도와 약 1,000,000:1 이상의 Dynamic range를 갖는 특성을 가지고 있어 향후 광통신이나 바이오 분

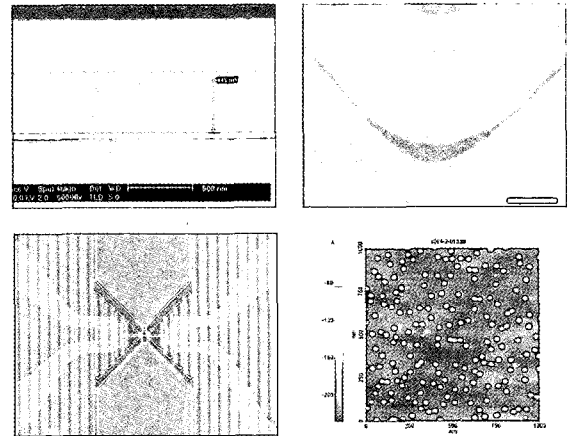


그림 32. MBE를 이용한 저차원 구조(양자우물, 양자선, 양자점)형성 기술.

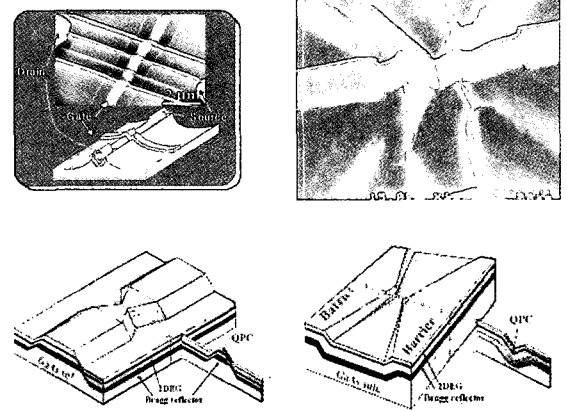


그림 33. 양자선을 이용한 GaAs/AlGaAs photo-FET 구조 구현.

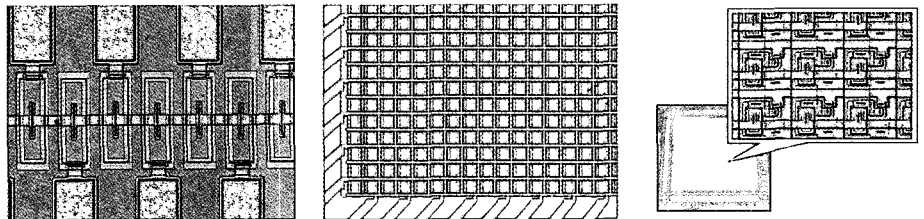


그림 34. 제작된 Heterojunction Phototransistor 128x1 1D 및 128x128 2D 어레이 칩.

아에서 많은 활용이 기대된다.

## 5.2 실리콘 이미지 광센서 기술

본 센터의 또 하나의 중점 연구축으로는 실리콘 이미지센서가 있다. 이미지 센서는 최근 휴대용 전자기기의 급속한 보급과 더불어 그 수요도 기하급수적으로 증가하고 있다. 영상 센서에는 실리콘 반도체를 기반으로 한 고체촬상소자(CCD : charge coupled device)와 상보성 금속산화막 반도체(CMOS : complementary metal oxide semiconductor)로 크게 두 가지로 분류된다. 이미지센서 각각의 특징을 살펴보면, CCD는 CMOS에 비해서 노이즈가 적고 이미지 품질이 우수하며 동일 화소급의 CMOS보다 크기가 작아서 1/2인치 이하가 되어야 하는 DSC(digital still camera) 제품군에 적합하다. CMOS는 일반적인 반도체 제조기술로 생산하기 때문에 증폭 및 신호처리와 같은 주변 시스템과 통합이 용이하여서 생산비용을 낮출 수 있고, 처리속도가 빠르면서 CCD의 1% 정도로 소비전력이 낮은 것이 특징이다. 그러므로 영상 센서 CCD형이 고급 고화질용으로, CMOS형이 보급형 저가 제품으로 시장 우위를 점하고 있으나, 점차 소비전력, 생산 단가, 시스템 집적화 등에서 유리한 CMOS형이 영상 센서 시장을 주도해 가고 있다.

본 연구센터에서 연구하고 있는 CMOS 및 SOI CMOS를 이용한 이미지 센서관련 구체적인 연구 분야로는 고감도 이미지 센서용 픽셀 설계, 고성능 차세대 픽셀 아키텍처 설계, Medici/Taurus Tool을 이용한 시뮬레이션, Dark current저감 기술, Wide dynamic range 기술, 픽셀 사이즈 축소 기술, 저잡음 신호처리회로 설계기술, SOI 픽셀 설계 기술, 초고속, 초저전력화 픽셀 설계 기술, E-beam lithograph

에 의한 나노 패터닝 형성기술, 양자선 제조공정 기술, SOI를 이용한 고감도 양자선 photo-FET 설계 기술 등이 있다. 특히 나노 SOI와 CMOS 기술을 융합한 이미지 센서는 향후 이미지 센서의 고화소화에 따른 동작속도의 증가와 저전력화 수요에 따라 벌크 CMOS가 가지는 소비전력 및 동작속도의 한계를 극복하기 위한 대안으로 떠오르고 있다.

차세대형 SOI 나노 이미지 센서는, 고집적, 고감도, 초소형, 초절전형, 신기능 수행이라는 지금까지의 센서와는 기능면에서는 절대우위의 기대치를 충족시키리라 예상된다. 특히, 이미지 센서는 감도특성이 중요한 만큼, 빛을 받아 들이는 픽셀의 집적도가 높아질수록 더욱더 가치가 커지게 된다. 단위면적당 픽셀의 집적도를 높이기 위해서는 단위픽셀의 사이즈가 작아져야 하며, 이로 인해 단위픽셀 내의 수광면적이 작아짐으로써 Fill Factor가 작아지게 된다. 따라서

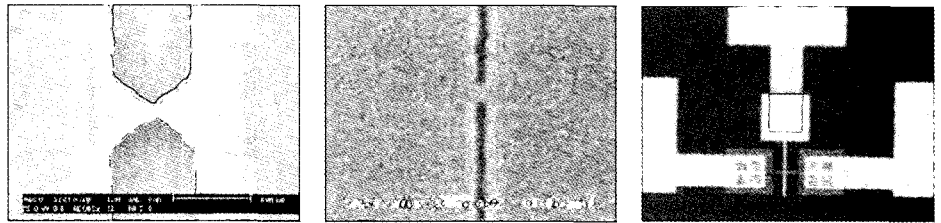


그림 35. SOI 나노 패터닝 기술 및 나노 채널 트랜지스터.

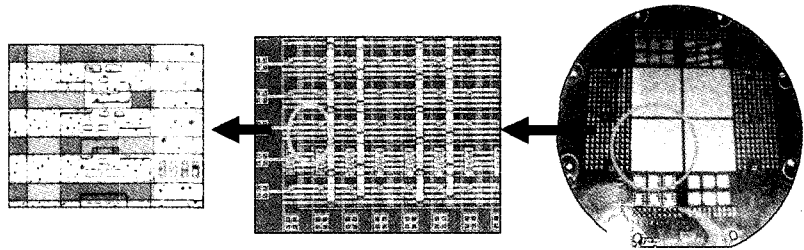


그림 36. 128 · 128 어레이 SOI 이미지 센서 시제품.

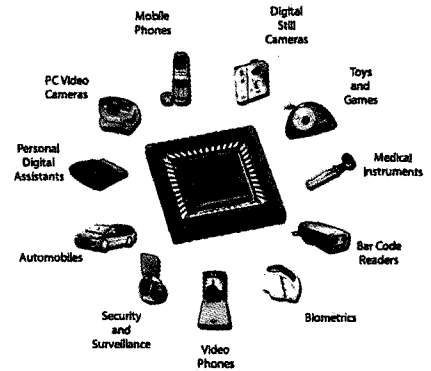


그림 37. 이미지센서 응용분야.

픽셀의 집적도를 높이는 동시에 Fill Factor를 가능한 한 크게 만드는 기술이 이미지 센서제작에 있어 핵심기술이라 할 수 있는데, 양자효과를 동반한 나노구조를 이용하면 고집적, 고감도의 나노 광센서를 만들 수 있으며 결과적으로 고성능, 고해상도를 갖춘 이미지센서를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

현재까지 VGA급 고감도 CMOS 이미지 센서 시제품을 개발하였으며 향후 지속적인 연구개발을 통해 이 분야에서 정상급의 연구개발 역량을 확보할 예정이다. SOI 이미지 센서의 경우 128 \* 128 어레이 칩 시제품이 제작된 상태이다(그림 36).

수발광소자를 이용하여 그림 37에 보여지는 예시되는 바와 같이 생화학 응용분야에 대한 연구도 병행하고 있다. 구체적인 연구 분야로는 MEMS공정을 이용한 LOC, MFS의 개발, 극미량 유체 제어를 위한 구조물 설계, Bio/Chemical sensor를 위한 초소형 광학계 설계 및 분석 기술 등이 있으며 이들의 분야별 응용 기술도 병행해서 연구하고 있다.

나노 수·발광 소자를 이용한 의료기기분야의 응용 가능한 분야로는 그림 38에 보이는 바와 같이 질병 진단용 영상센서, 세포핵, 세포질의 특정 광신호를 분리하여 질병을 측정하는 장치, ELISA 와 LIF를 이용한 특정 세포 추적 및 검출기, 비침습적 생체 현상 검출방식을 통한 혈당 검출 및 병질환 검출 메커니즘 연구, 광의 전반사 특성을 이용한 피부성분 검출기 등이 있다.

기타 나노 수·발광 소자의 환경/군사분야 응용가능 기술로는 수질검사용 극미량 중금속 검출, 수질검사용 유해 유기물 검출 장치, 대기중 중금속 성분 분석장치를 위한 극미량 분석 장치, 적외선 이미지센서를 이용한 군사용 적외선 야시경, 첩보 항공기 및 위성용 지상관측 카메라용 가시광/적외선 이미지센서, 야전용 생화학 물질 검출용 초고감도센서 등이 있다(그림 39 참조).

향후 본 센터에서는 나노 수광소자 이외에 발광소자와 전자소자에 대한 연구 개발에도 주력할 예정이다. 구체적인 발광소자 연구분야로는 GaAs기반 근적외선 대역 VCSEL LD 설계 및 공정, 양자선을 이용한 고효율 LD/LED 설계 및 공정, 양자점의 DWELL 구조를 이용한 이중접합 고효율 LD/LED 설계 및 공정이 있으며, 전자소자 분야로는 SOI 실리콘을 이용한 나노선(양자선) FET 설계 및 공정, GaAs/AlGaAs HEMT기반 고속 전자소자 설계 및 공정, 양자선/양자점을 이용한 단전자 트랜지스터(SET) 연구, 테라비트급 차세대 메모리 소자 연구, 양자구조의 반도체 히스테리시스 현상을 이용한 광메모리 소자 연구 등이 있다.

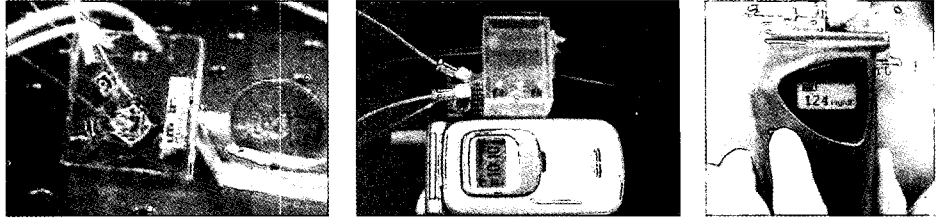


그림 38. 나노 광소자의 의료분야 응용 예.

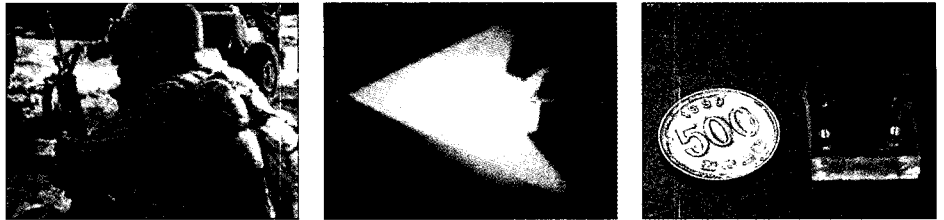


그림 39. 나노 광소자의 환경, 군사분야 응용 예.