

# 광센서의 응용과 기술 동향

박 세 광\*, 권 기 진\*\*

(\*경북대학교 공과대학 전기공학과 조교수,

\*\*경북대학교 공과대학 전기공학과 박사과정)

## 1. 광센서의 개요

시스템의 고도화에 따라 각종 센서의 정확도와 역할이 증대되고 있다. 센서 시장의 다양화가 빨라지고 있는 가운데, 이러한 센서들 중에서 광 센서는 정보의 감지나 시스템의 제어 등에 있어서 중요한 역할을 담당하고 있다. 광계측 기술에 관한 최근의 주변환경은 광통신 기술의 발전과 함께 광전송로로서의 광 파이버, 레이저나 발광 다이오드의 광원, 수광 소자로서의 포토다이오드나 2차원화된 CCD 그리고, 셀코크렌즈, 광분기 회로, 광합성과 같은 소형 광학 부품 등의 요소 기술이 정비되었다. 그리고, 광센서가 소형화, 저전력화 됨에 따라 계측 산업 전반을 지원하는 기술이 현재 연구중이다. 특히, 광센서는 비접촉 계측 방법으로 사용될 수 있기 때문에 공장 자동화, 로봇릭스, 사무 자동화, 리모트 센싱, 의료용 등의 여러분야에 걸쳐서 그 사용 예가 증가하고 있다.

광센서란 용어의 정의는 애매하지만 일반적으로 “빛을 검출하여 측정 가능한 양으로 변환하는 소자”를 말한다. 실제로 시판되고 있는 광센서는 제어의 용이함 때문에 전기신호로 변환되는 경우가 많다.

일반적으로 광센서가 일반 산업용으로 많이 쓰이는 이유는 광센서가 측정대상물에 비접촉으로서도 계측이 가능하고, 광을 이용하기 때문에 응답속도가 빠르며, 특히 센서가 설치되는 장소의 강한 누설

자속이나 진동 등과 같은 영향을 받지 않고 안정된 동작을 수행할 수 있다는 장점때문이다. 그러나, 다음과 같은 단점으로 인하여 광센서를 이용한 계측에 있어서는 세심한 설계가 필요하다. 광센서의 수광면이 오염될 경우 광이 차광 산란으로 인하여 적절한 보호처치가 필요하며, 광원의 주위의 외란광의 영향을 받아 오동작하는 경우가 많으므로 이에 대한 대책을 고려하여서 광 센서를 설계하여야 한다.

광센서의 분류는 크게 파장의 대역에 따라 다음 표1과 같이 분류할 수 있다[1].

표 1. 광센서의 분류

광센서의 분류	광센서의 종류
가시광 센서	광전자 방출형 센서, 광도전형 센서, 광기전력 센서 이미지 센서, 광 파이버 센서
적외선 센서	양자형 센서, 초전형 센서, 서모 파일 센서
자외선 센서	광전자 방출형 센서
방사선 센서	비례계수관, 신디레이터

본고에서는 광센서 기술의 특징과 가시광 센서를 이용하여 응용될 수 있는 분야 중 산업용과 의료용으로서의 사용 예를 살펴 보고, 현재 외국과 국내의 광 센서 기술수준과 수용 및 시장 등에 관하여 알아보고자 한다.

## 2. 광계측 기술의 특징

광계측 기술을 계측 기능 면과 하드웨어 측면에

서 그 특징을 살펴 보면 다음과 같은 특징이 있다.

(1) 계측 기능면에서의 특징

1) 고감도, 구분해능의 계측

레이저광과 같은 예민한 파장 분석 특성, 파장의 가변 제어성, 분광 분석 기술 등은 앞으로 광센서의 고분해능화에 기여할 것이다.

2) 비접촉, 비파괴 계측

화상의 투영과 빛의 전달 현상을 이용함으로써 비접촉, 비파괴 계측이 가능하며 경우에 따라서는 원격 계측도 가능하다. 이러한 특징은 측정은 대상물에 악영향을 미치지 않으므로 정밀부품과 인체 계측에 적합하다 하겠다.

3) 화상 병렬 처리 기술

병렬 처리 기술의 도입으로 각종 결합의 검출을 종래의 시간적 처리에서 화상적 즉, 공간적으로 정보를 처리함으로써 계측의 정밀도나 응답속도의 향상을 도모할 수 있다.

(2) 하드웨어면에서의 특징

1) 소형, 경량성

최근의 광센서 부품들이 소형화됨에 따라 경량의 전체 시스템을 설계, 제작이 가능하게 되었다.

2) 전기 절연성

일반적으로 광을 투과하는 물체는 전기 절연성이 있는 것이 많으므로 광에 의한 신호 전달은 주위의 전자적 환경에 영향을 받지 않으므로 전송에 따른 노이즈 혼입이 적은 시스템을 실현할 수 있다.

3) 저전력성

주위의 잡음 영향이 적으므로 계측 시스템의 동작을 위한 에너지가 소량인 저전력성의 계측 시스템을 설계, 제작 가능하다.

### 3. 포토다이오드의 원리 및 응용

광에 관계된 반도체 센서중 빛을 받아, 즉 광에너지를 전기에너지로 변화시키는 가시광 센서중 Photoresistor와 Photodiode에 대하여 알아본다.

#### 3.1 Photoresistor

유리창을 통하여 광이 들어와 지그재그 모양으로 된 CdS나 CdSe 저항체의 저항값을 변화시키고 이 변화량은 광량에 비례한다. 예를들면, CdS의 저항값이 어두울 때는 15MΩ 정도까지 변화한다. 이러한

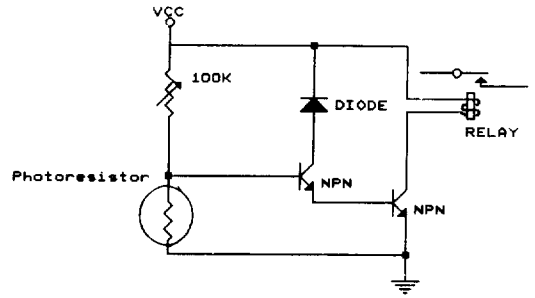


그림 1. photoresistor를 제어하는 relay 회로

photoresistor는 아주 빠른 응답 특성을 가지지 못하고, 온도에서도 안정되지 못하다는 단점이 있다. 그러나 값이 싸고 수명이 길며 감도 또한 좋다. 이러한 이유때문에 광량의 정확도가 필요로 되지 않는 응용 분야에 주로 사용된다.

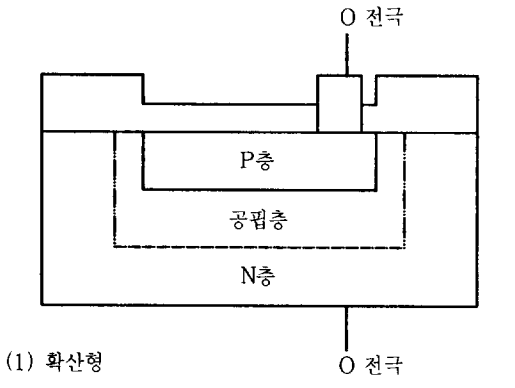
응용 분야는 주로 가로등의 자동 점멸에 사용된다. 가로등의 꼭대기에 설치해 놓으면 어두워질때, 다음 그림 1과 같이 photoresistor의 저항값이 설정된 값까지 증가하게 되고, transistor가 도통된다. 이것이 relay를 구동하여 가로등의 빛을 밝게 하는 스위치로 동작하게 된다.

#### 3.2 포토다이오드(Photodiode)

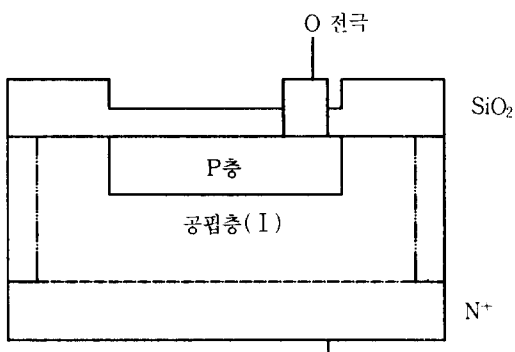
반도체의 PN 접합면에 적당한 파장의 광이 조사되면, 전극간에 위상차가 발생하는 광기전력 효과를 이용한 것이다. 즉, 입사되는 광 에너지  $h\nu$ 에 대하여 전자·전공 쌍이 발생하게 되고, 공핍층에서 전자는 N형 전극으로 정공은 P형 전극으로 이동해서 출력된다. 포토다이오드는 PN 접합의 제작 방법, 반도체 물질의 종류에 따라 내부 구조가 달라지고, 또한 제조업체에 따라 제조 방법이 따르기 때문에 같은 종류의 PN 접합이라 하더라도 구조나 특성에 차이가 있다. 대표적인 포토다이오드의 형태와 특징은 다음그림 2와 표 2와 같다[2].

#### 3.3 포토다이오드의 원리

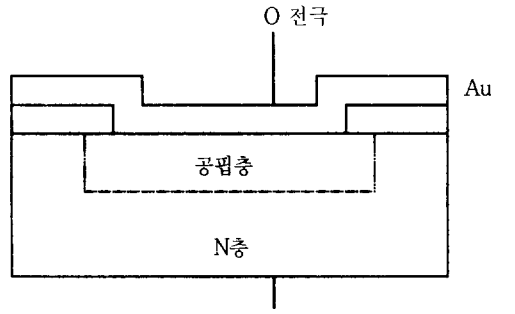
P형 반도체와 N형 반도체를 접합시키면 P 영역의 majority carrier인 정공은 N형 영역으로 N 영역의 majority carrier인 전자는 P영역으로 확산하지만, 뒤에 남은 억셉터와 도너의 전하는 전기장을 만드는 캐리어의 확산을 제거하는 작용을 한다. 열



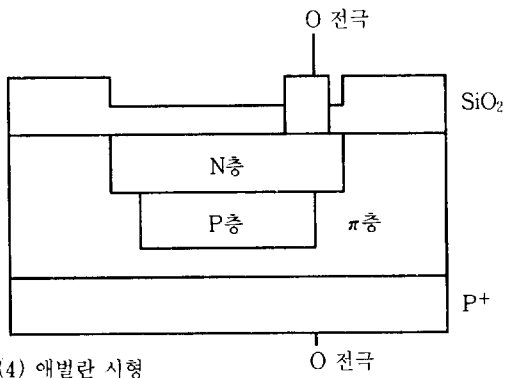
(1) 확산형



(2) PIN형



(3) 쇼트키형



(4) 애벌란 시형

그림 2. 포토다이오드의 형태

표 2. 포토다이오드의 특징

형 태	각종 Photodiode의 특징
(1) 확산형	- 낮은 암전류 - PN 접합의 단면을 실리콘 산화막으로 덮는다.
(2) PIN형	- 최고속 응답: 전자-전공 쌍의 대부분이 공핍층에서 만들어지고 전하가 즉시 모이므로 응답 속도를 매우 빠르게 할 수 있다. - P와 N층 사이에 저항이 매우 큰 I층을 만든다. - 역바이어스 전압을 충분히 걸어 N층 부근까지 공핍층을 넓게 하여 사용한다.
(3) 쇼트키형	- 고자와의 감도: 공핍층이 표면 가까이에 묻히도록 제조되기 때문에 파장이 자외영역까지 감도가 있다. - 역전류가 크고 반도체 표면을 사용하고 있으므로 확산형에 비해 불안정하다. - 표면에 Au 박막을 증착하고 표면 가까이에 쇼트키에 의한 접합을 형성시킨다.
(4) 애벌란 시형	- 초고속 응답 - 노이즈 영향이 작고 미약한 광의 검출이 가능 - 공핍층 내의 고전계에서 캐리어는 2차 전자를 연속하여 발생시켜 전자사태(애벌란시)를 일으켜 캐리어들은 증배되게 된다.

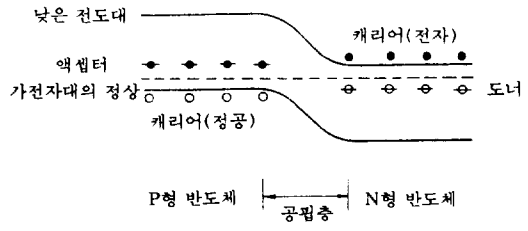


그림 3. P-N 접합의 에너지 밴드 그림

평형 상태에서는 캐리어의 흐름이 전체적으로는 없게 되는 것처럼 확산과 이의 전기장이 완전히 평형하게 된다. 에너지 밴드 그림은 다음 그림 3과 같다. p영역과 N영역의 경계는 장벽이 되는 전기장이 만들어지고 거기에 캐리어가 존재하지 않는 공핍층이 만들어진다.

### 3.4 광기전력 효과

1900년에 Planck가 실험적으로 흑체의 방사선에 대한 스펙트럼 분포를 알아내고 1905년에 Einstein은 광전효과에 적용하여 전자와 에너지가 공간에서 연속적으로 분포되는 것이 아니고 광자라고 하는 작은 뭉치들로 분류됨을 알았다. 즉, 광자 에너지는

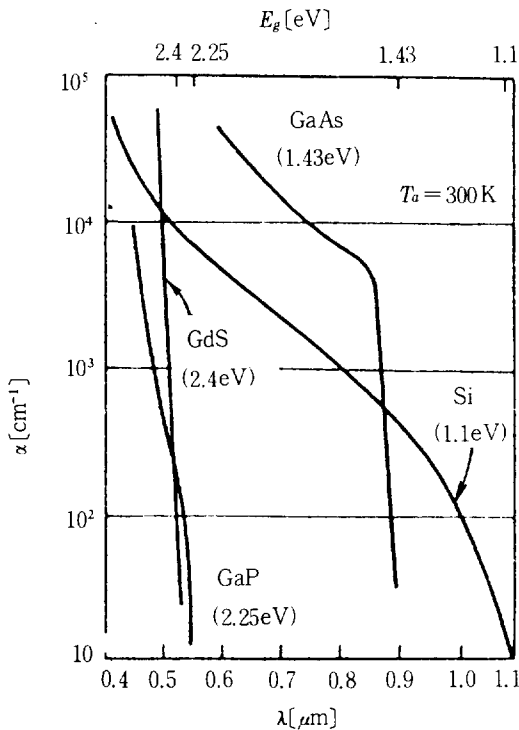


그림 4. 반도체 물질의 흡수계수

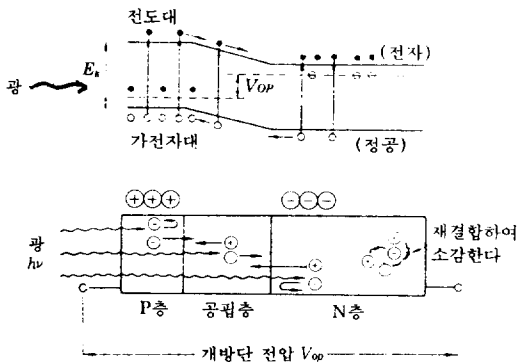


그림 5. 포토다이오드의 원리

$E_p = h\nu = hc / \lambda$  이다.

여기서  $h$  : Plank 상수 =  $4.136 \times 10^{-15}$  eV

$\nu$  : 광의 진동수

$c$  : 진공중 광속도 =  $2.998 \times 10^8$  m/sec

$\lambda$  : 파장

그러나, 광자가 반도체에 흡수되면 광자가 가전자대의 전자에 에너지를 주어 전자를 전도대로 올려 전자·정공 쌍을 만든다. 광자 에너지가 금지대의 에너지갭( $E_g$ )보다 작을 때는 전자·정공 쌍을

만들지 않기 때문에 광자는 흡수된다. 따라서, Si의 경우에는  $E_g = 1.12$  eV 임으로  $\lambda = hc / E_p = 1,240 / 1.12 = 1100$  nm 이상인 광에 대해서는 대부분의 감도를 가지지 않는다.

반도체를 투과하는 광속  $F$ 는 입사한 광속을  $F_0$ , 흡수계수를  $\alpha$ , 반도체의 두께를  $d$ 라 하면,  $F = F_0 e^{-\alpha d}$ 로 나타난다. 따라서 반도체에 흡수되는 광속  $\Delta F$ 는  $\Delta F = F_0 - F = F_0(1 - e^{-\alpha d})$ 로 된다. 흡수계수  $\alpha$ 는 반도체 물질과 파장에 의해 결정된다. 그림 4는 여러 반도체의 흡수계수를 그래프로 나타낸 것이고, 그림 5는 포토다이오드의 동작 원리이다.

포토다이오드에 입사한 광자는 p층, 공핍층, N층에서 각각 흡수되어 전자·정공쌍을 만든다. P층에 만들어진 전자는 확산하는데, 그 일부가 공핍층에 도달하면 공핍층의 강한 전기장에 의해 전자는 N층으로 이동하여 부전하로서 N층에 축적된다.

이 전자와 쌍을 이루는 정공(실제로는 정공과 거의 구별할 수가 없지만)은 전위장벽(전자와 정공의 이동을 방해하도록 하는 전위벽)에 의해 N층으로의 이동이 방해를 받아 정전하로서 p층에 축적된다. 공핍층과의 거리가 확산 길이보다 떨어진 곳에 만들어진 전자의 대부분은 공핍층에 도달할 즈음 정공과 재결합하여 최종적으로 열로 된다.

N층에 만들어진 전자·정공쌍도 마찬가지로 확산하여 공핍층에 도달하면 정공은 공핍층의 전기장에 의해 P층으로 이동하여 정전하로서 축적되고, 전자는 N층에 축적된다. 공핍층에서 만들어진 전자·정공쌍은 강한 전기장 때문에 떨어져 전자는 N층으로, 정공은 P층으로 이동하여 각각 전하로서 축적된다. 이것이 광기전력 효과이다.

이 전하는 전위 장벽이 낮아지도록 작용함으로써 어느 정도의 전하가 축적되면 캐리어는 장벽을 넘어 이동이 쉬워지고, 캐리어의 이동이 외관상 없어질 때까지 전위 장벽이 내려간다. 이 전위가 외부에 전압으로서 나타나는 개방단 기전력으로 된다.

포토다이오드의 양단에 부하를 접속하면 전류가 흐르고 단락하였을 때 최대 전류가 된다. 이 전류를 단락 전류라 한다.

### 3.5 포토다이오드의 응용

(1) 조도계, 광량계의 응용

포토다이오드는 광량과 광기전류의 관계가 광범

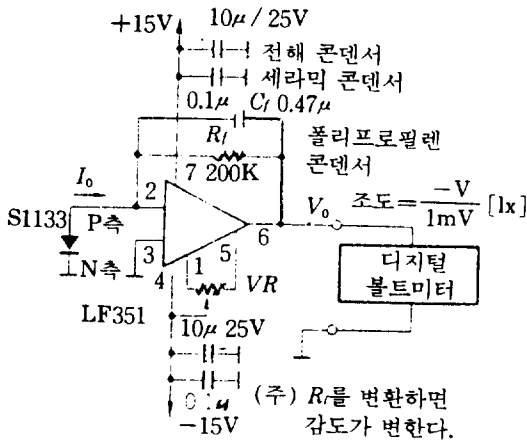


그림 6. 조도계의 회로도

위하게 걸쳐 선형적이기 때문에 조도계나 광량계의 센서로 매우 좋다. 포토다이오드의 측량은 광의 수에 따르지만, 광량의 정의는 "1칸델라의 표준 광원으로 부터 단위 입체각에 방사되는 광속을 사람의 눈의 분광 감도로 측정된 광속에너지"로 되어 있다.

미약한 광을 측정하는 경우에는 렌즈로 집광하여 면적이 작은 검출기로 수광하는 쪽이 잡음 전류가 작아지지만, 렌즈계의 효율이나 분광 감도 특성이 문제로 된다. 다음 그림 6은 조도계의 회로도이다. 귀환 저항  $R_f$ 를 무한대로 하면 광량계로 되지만, 그대로 두면 계속 충전되므로 그림 7과 같이  $C_f$ 를 방전시키는 스위치를 부착시킨다.  $C_f$ 가  $0.5\mu F$ 일 때  $100Lx$  조도에서는 1초에 1V로 된다. 렉스로 나타

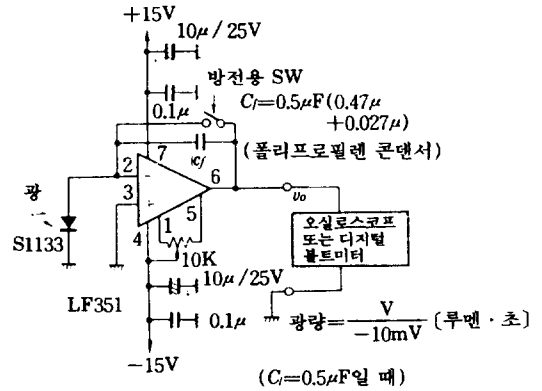


그림 7. 광량계의 회로도

낸 조도로 광량을 교정한 경우는  $1m^2$ 당 광량(루멘. 초 /  $m^2$ )이다.

(2) 광신호 검출 회로에의 응용

그림 8은 광통신이나 광 리모트 컨트롤용 수광회로이다. 기본적으로는 조도계와 같지만, 응답 속도를 빠르게 하기 위해 PIN형 포토다이오드에 역바이어스를 걸어 사용한다. 증폭 회로의 주파수 특성은 광신호의 변조 주파수 스펙트럼으로부터 결정된다.

신호원 이외의 남은 불필요한 광은 오동작의 원인이 되므로 이를 컷트하는 필터를 부착한다. 광파이버 통신의 경우는 여분의 광이 들어올 수 없으므로 필터를 부착할 필요가 없다.

가시광을 컷트하는 필터가 부착된 포토다이오드

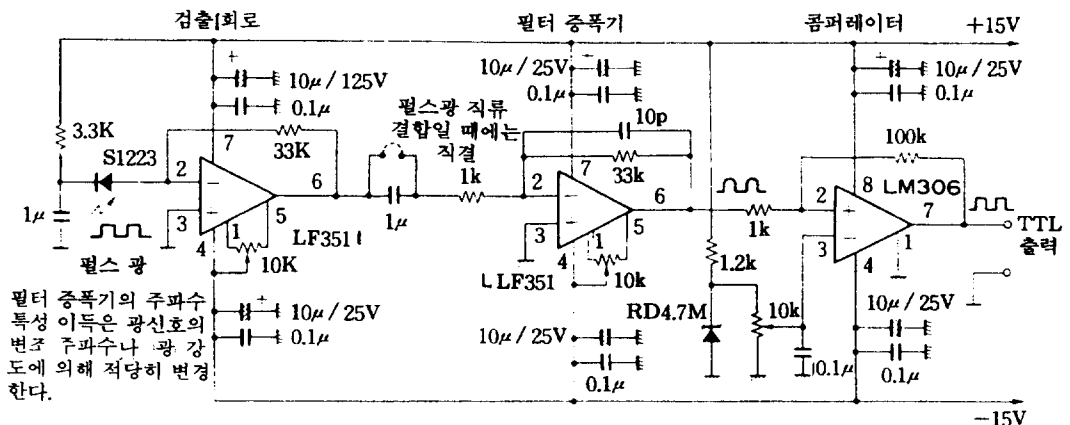


그림 8. 광 신호 검출 회로

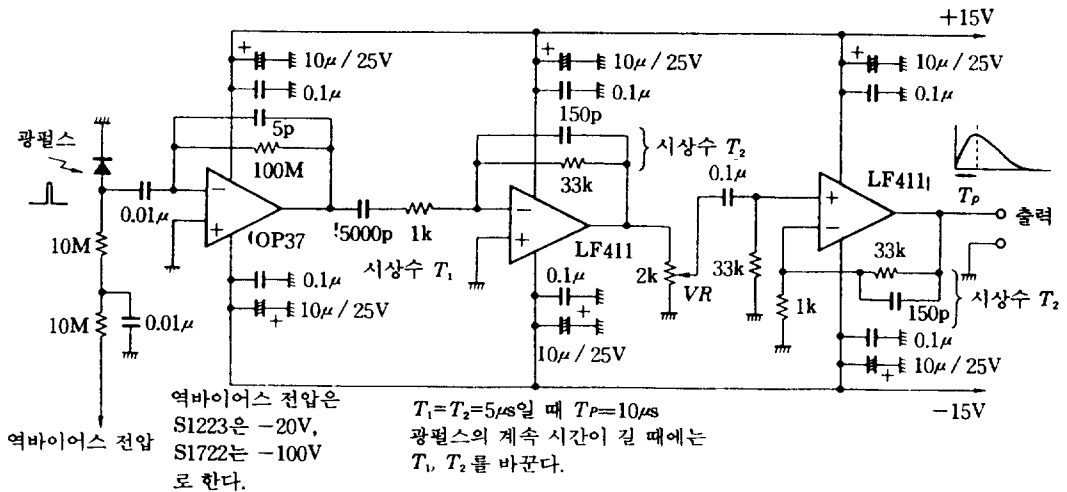


그림 9. 미약한 광펄스의 광량 측정 회로

는 700-1.100 nm의 적외선에 분광 감도가 있기 때문에 밝은 곳에서도 사용할 수 있다. 수광회로의 후단에는 신호의 특성에 맞는 필터 증폭기를 넣어 신호를 추출한다.

(3) 미약한 광펄스의 광량 측정 회로

계속 시간이 마이크로 초 이하인 미약한 광펄스의 광량 측정은 그림 9의 전하 증폭기와 광량을 전압 펄스의 진폭으로 변환하고 파형 정형 회로를 사용한다. 포토다이오드는 저잡음의 PIN포토다이오드가 적합하지만, 초단 OP앰프의 잡음에서 검출 한계가 결정된다.

미약한 광용 회로(전하 증폭형이나  $R_f$ 가 큰 전류 증폭형)는 감도가 높으므로 외부의 전기 잡음을 쉽게 잡기 때문에 전기적인 실드를 완전히 실시해야 한다. 또한, 센서 주변의 기계적인 진동에 의한 마이크로포닉 잡음을 방지해 두어야 한다.

4. a-Si TFT 구동 밀착형 이미지 센서

근년에 오피스의 전자화가 급속히 진전되고 있는데, 이에 따라 종래의 단일 기기로서 팩시밀리, 워드프로세서, 복사기, 화상 전자 화일 등의 화상 입력 출력 기기는 디지털화에 따라 오피스내에 설치된 LAN에 접속되어 시스템화 또한 퍼스널화하는 경향이 있다. 이러한 기기에 대한 요구 시방으로서 고성능화는 물론, 소형화, 저가격화가 요구된다. 이들

기기 중 화상 입력 장치로는 종래의 CCD가 축소광학계를 사용하여 소형화에 난점이 있었는데, 이의 문제점을 해결한 밀착형 이미지 센서가 급속히 증가하고 있다.

4.1 밀착형 이미지 센서의 종류와 방식[3]

밀착형 이미지 센서는 결정 실리콘을 사용한 IC형과 다결정 또는 아몰퍼스 막을 이요하는 박막형으로 크게 나눌 수 있다. IC형은 CCD 등의 이미지 센서 여러개를 1열로 배치하여 원고폭 사이즈와 동등하게 하고 있으며 감도나 속도 면에서는 뛰어나지만 가격면에서 난점이 있다. 박막형에는 광 전류의 추출 방법에 따라 실시간으로 전류를 검출하는 광도전형과 미소전류를 축적시켜서 검출하는 축적형으로 나눌 수 있다. 광 도전형은 큰 광 전류가 취해지기 때문에 매트릭스 구동으로 스위치 수를 줄이고 가격을 낮게할 수 있고 광응답 속도가 늦고 고속 용도에는 적합하지 않다. 축적형은 수광조사 1 비트마다 스위치를 필요로 하고 이 스위치의 형성 방법에 따라 통상의 IC에 의한 IC 개별 구동형과 박막 트랜지스터를 통한 TFT개별 구동형으로 나눌 수 있다. TFT는 다시 사용하는 재료에 따라 a-Si TFT형과 poly-Si TFT형으로 나누어진다. 현 시점에서는 저가격, 고성능화를 달성하기 위하여 TFT 개별 구동형이 유망하다고 생각된다.

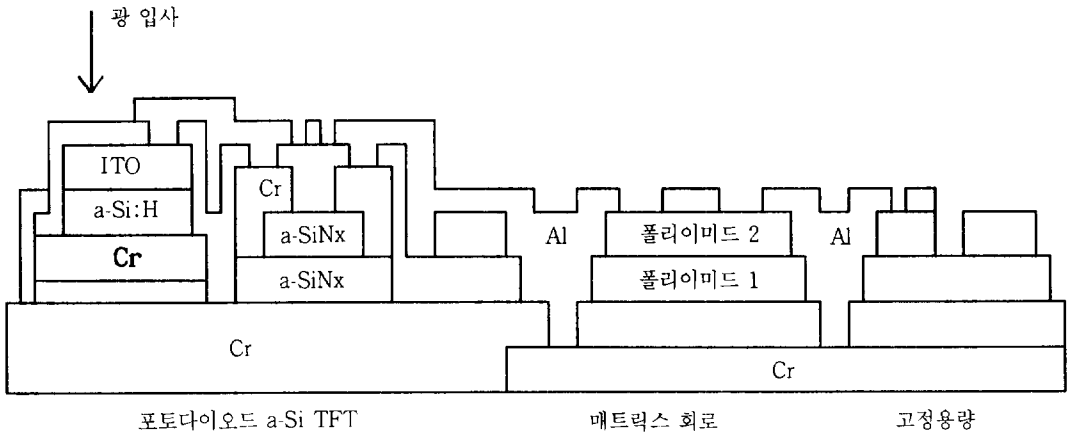


그림 10. a-SiTFT 구동 밀착형 이미지 센서의 단면도

#### 4.2 a-Si TFT 구동 밀착형 이미지센서의 구성

직선상에 배열된 2560개의 포토다이오드 및 a-Si TFT로 구성되는 어레이부와 두개의 아날로그 멀티플렉서가 탑재된 IC 탑재부의 2개 기판으로 구성되어 있다. 어레이부는 글래스 기판을 사용, 박막 또는 프로세서에 의해 포토다이오드, a-Si TFT, 매트릭스 회로 및 고정용량을 형성하고 있다. 그림 10에 그 단면도를 나타내었다. 수광부의 포토다이오드는 a-Si:H와 ITO(Indium Tin Oxide)의 쇼트키 접합을 이용한 것이며, a-Si:H를 하부 전극의 Cr과 상부 투명 전극의 ITO로 끼운 샌드위치 구조를 하고 있다. 각 화소의 수광 면은  $58 \times 83 \mu\text{m}$ 이다. a-Si TFT는 게이트 전극에 Cr을 사용한 역스태거 구조이며 게이트 절연막에는 a-SiNx를 사용하고 있다. 채널부에 광 입사에 따른 전류의 상승을 억제하기 위하여 폴리이미드를 통하여 Al에서 채널부를 차광하고 있다. 매트릭스부는 하부 배선의 Cr을 상부 배선에 Al을 사용하고, 충전 절연막

으로는 a-SiNx 및 폴리이미드를 사용하고 있다. 고정 용량은 매트릭스부와 같이 상하 전극을 Al, Cr을 사용하고 있다.

#### 4.3 팩시밀리/디지털 복사기에의 응용

이미지 센서에서 출력되는 아날로그 비디오 신호는 그림 11에 나타난 회로를 거쳐 디지털화 되어 팩시밀리 통신부에 화상으로 입력되거나 직접 프린터나 디스플레이로 출력된다. 1 라인의 비디오 신호는 화소 배열 순으로 1개의 연속된 시계열 신호로 출력되고, 고속화를 위하여 복수개의 병렬 출력을 이용하여 이미지를 합성하여 출력을 얻는다. 위 화상을 충실하게 재현하기 위한 보정 수단으로 원고 면상에 조사하는 광의 분포나 이미지 센서의 감도 분산을 미리 기억하여 두고 이 분포에 대한 실제 화상 신호의 상대량을 분할하는 방법이 있다. 이들 보정하기 위하여 RAM을 이용하는 경우가 있다. 후처리부에서는 화상의 압축과 농도보정을 수행하는 전반적인 화상 처리부이다. 그리고 이들 화상들은 원하는 방법으로 출력이 이루어지도록 화상 변환되어 출력된다.

#### 5. 비추출식 혈증 산소 포화도 측정용 광센서

광센서의 응용분야중 국내에서 연구개발중인 혈증 산소 포화도 측정용 광센서에 대해 소개하고자 한다.

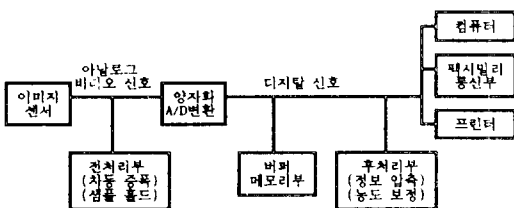


그림 11. 이미지 센서의 신호 처리 회로 구성

혈중 산소 포화도는 의료 분야에 있어서 환자의 치료나 진단 대사 등을 측정하는 기초적인 값으로 쓰이고 이의 측정법은 오랜 역사를 가지고 있다. 현재까지 인체의 혈중산소 포화도는 혈액을 직접 추출하여 측정하는 방법이 널리 사용되고 있으나, 이러한 방법은 생리학적인 제 조건의 변화에 따라 변화됨으로, 신속하고 정확한 조건들을 측정할 수 없게 된다. 특히 인공 심장과 같은 인공 장기의 개발과 함께 이들의 제어에 있어서는 신속하고 정확한 정보는 필수적이므로, 생리적 제반 변수들을 검출하기 위한 센서들의 개발 또한 필수적이라 하겠다. 이들 센서중, 혈액 내의 산소 포화도를 광학적인 방법을 이용하여 비추출식으로 측정하여 혈액의 산소 포화도의 변화를 실시간으로 측정할 수 있는 광센서에 대하여 알아보하고자 한다[4].

### 5.1 측정 원리

혈액 중 산소의 형태는 적혈구 중의 헤모글로빈과 가역적으로 결합하여 그 중의 일부가 혈장 중에 용해되어 있다. 헤모글로빈 분자 1개와 결합 할 수 있는 최대 산소 분자는 4개이다. 산소 포화도란 혈액 전체에서 허용량의 몇 %의 산소가 결합하고 있는지의 값을 나타내고 있다. 100% 산소 포화도의 헤모글로빈을 산화 헤모글로빈(HbO<sub>2</sub>), 0% 산소 포화도의 헤모글로빈을 환원 헤모글로빈(Hb)이라 한다. 일반적으로 산소 포화도는 HbO<sub>2</sub> / (HbO<sub>2</sub> + Hb)로 나타낼 수 있다.

혈액중 산소 포화도를 비추출식으로 측정하는 기본 원리는 파장에 따라 헤모글로빈의 흡광 특성이 달라진다는 것을 이용한 것이, 즉, 적색 파장(665nm 영역)에서는 혈액 중의 산화 헤모글로빈과 환원 헤모글로빈 사이의 흡광 계수차가 크게 나타난다. 이는 이 파장 영역에서 혈액의 산소 포화도의 변화를 가장 민감하게 검출할 수 있다는 것을 나타내고 있다. 그리고, 적외 파장(805nm 영역)에서는 혈액 중 헤모글로빈의 변화가 무관하게 일정한 흡광 계수의 값을 나타내고 있다. 그러므로, 이 파장은 헤모글로빈의 상태 변화를 나타내는 적색 파장에 대한 기준값으로 사용될 수 있고 혈액 중의 헤모글로빈의 함량을 나타내는 기본값으로 사용된다.

### 5.2 광 센서의 구조

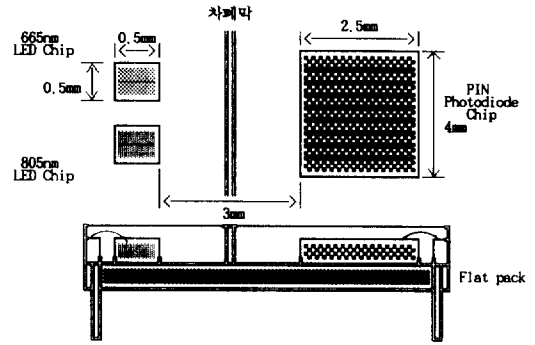


그림 12. 산소 포화도 측정용 광 센서의 구조

적색 파장 보다 짧은 파장 영역에서는 헤모글로빈의 광흡수가 너무 강하여 광자는 0.1mm 이상을 투과하지 못한다. 45% 헤모토크리트에서는 일반적으로 광자의 투과 두께가 약 0.3mm - 0.5mm 정도이다. 그러므로, 혈액 내에서 원하는 광만을 검출하기 위해서는 광원부와 감지기부 사이의 이격거리가 광자의 투과 두께보다는 커야 한다. 그래서, 제작된 광센서의 이격거리가 3mm 정도가 되도록 설계하였다. 광원으로는 LED 칩을 사용하였고, 감지기 부분은 광의 강도에 선형성이 큰 PIN형 포토다이오드를 사용하여 구성하였다. 그리고, 광원과 감지기 사이에 차폐막을 구성하여 광의 간섭 영향을 최소화하였다. 이들 칩들을 플랫 팩(flat pack)위에 패키징하였다. 그림 12는 설계된 광 센서의 구조를 나타낸 것이다.

### 5.3 측정 결과

동물 혈액을 이용하여 산소 포화도를 변화시키면서 광 센서의 출력치를 측정해 본 결과를 그림 13에 나타내었다. 혈액의 산소 포화도의 변화와 함께 광 센서부의 각 파장별 출력치의 비가 선형적으로 변화됨을 알 수 있다. 산소 포화도는 측정원리에서 살펴 본 바와 같이 혈액의 헤모글로빈의 변화에 민감한 파장과 일정한 흡광 계수를 유지하는 파장과의 비로서 나타낼 수 있다.

$$\text{산소 포화도} = A + B \times R805 / R665$$

여기서 R805, R665는 각각 805nm, 665nm의 파장에서 반사광 강도이고, A, B는 각각 혈액과 센서의 특성에 의존하는 상수이다. 그림 13에서 산소 포화



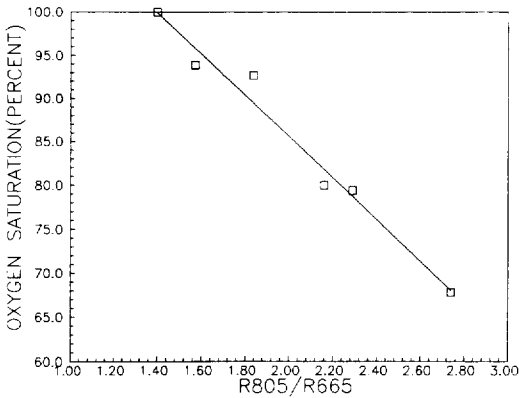


그림 13. 혈액의 산소 포화도 변화에 따른 각 과정별 출력치의 비

도의 변화를 60%~100%까지 범위에서 센서의 출력치를 측정하였다. 이 범위는 실제 대동맥과 대정맥에서의 산소 포화도의 범위에 해당된다. 따라서, 개발된 광 센서는 인공 심장의 제어를 위한 변수인 산소 포화도를 비추출식 방법을 이용하여 실시간간으로 정확하게 제공할 수 있게 된다.

## 6. 세포 융합 감지용 광 센서

세포 융합을 수행하기 위한 방법으로는 크게 화학적인 방법(chemical method)과 전기적인 방법(electrical method)의 두가지 방법으로 나눌 수 있다. 화학적인 방법에서 대표적인 방법으로는 PEG (PolyEthylene Glycol)법이 널리 이용되고 있다. 이 방법은 화학 약품이 세포들간의 접촉을 촉진시켜 융합되는 방법으로서 세포 융합후, 돌연 변이의 생성 문제와 최대 융합양을 찾기 위하여 적정 PEG 양을 선택하여야 한다는 문제점을 가지고 있으며 낮은 yield( $1/10^9$ )를 나타낸다. 이에 반해 전기적인 방법은 유전 전기 영동(dielectrophoretic)을 이용하여 세포를 접촉하여 융합시키는 방법으로 세포의 돌연 변이 문제 해결 및 높은 yield( $1/10^3$ )를 가진다.

세포 융합 과정에서 두개의 세포를 선택적으로 융합시키기 위해서는 여러가지 기술적인 문제가 뒤따르게 된다. 그 중 몇가지를 살펴보면 다음과 같다. 세포를 저장할 수 있는 저장 탱크에서 세포를 하나씩 밀어 내기 위한 마이크로 펌프의 제작 기술,

수십~수백  $\mu$ m 정도의 폭을 가지며 세포의 흐름을 유도할 수 있는 관(channel)을 형성하는 반도체 미세 가공 기술, 세포의 흐름 유무와 세포 융합 과정을 감지하는 광 센서의 제작 기술 등의 여러가지 요소 기술이 필요하다. 다음은 세포 융합의 기본 이론과 세포의 흐름 유무를 감지하는 광 센서에 대하여 알아보려고 한다[5, 6].

### 6.1 세포 전기 융합의 이론

유전 전기 영동에 의한 세포의 이동에 관한 연구가 1978년 Pohl에 의해 발표된 이후 많은 학자들이 이에 관해 연구를 수행하고 있다. 일반적으로 세포는 지질이중층과 막단백질의 성분으로 구성되어 있으며 이러한 물질들은 고유전율과 고저항의 성질을 띠고 있기때문에 이들 세포의 양끝 부분에 전극을 통하여 전계를 인가하게 되면 세포막 표면에서 분극 현상이 발생하게 되어 전극의 두극으로 세포가 이동하게 된다. 일반적으로 세포질의 파괴가 발생할 수 있도록 외부에서 인가하여 주는 전압은 0.3~3V 정도이다.

이와 같이 전압을 세포에 인가하게 되면 세포질의 분극 현상에 의해 전위를 띠게 되며 분극이 된 세포들은 서로 접촉을 하게 된다. 다음 단계로는 세포의 단백질 성분이 접촉하게 되고, 세포막 지질 이중층의 친수성 성분이 접촉하게 된다. 접촉된 지질 이중층의 친수성 부분에서 막의 분할이 이루어지게 된다. 그리고, 분할된 세포막이 하나의 세포막으로 형성된 다음 핵융합이 이루어져 하나의 완전한 세포 융합이 이루어지게 된다. 그림 14는 세포 융합 과정을 나타낸 그림이다.

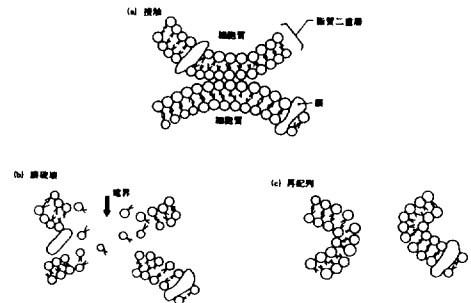


그림 14. 세포의 막 파괴와 융합 과정 모식도

### 6.2 광 센서부의 제작

세포 융합을 위하여 세포의 흐름을 유도할 수 있는 도파관의 제작은 반도체 공정과 미세가공 기술을 이용하여 실리콘 기판에 사진 식각 식각 공정을 수행하여 원하는 폭의 관이나 다른 미세 구조를 형성할 수 있다. 이러한 미세 가공 기술은 현재 여러 가지 물리적, 화학적 센서를 제작하는 기본 기술들이다. 세포 융합 장치의 도파관 외에 이러한 기술들은 광 센서를 제작하기 위하여도 이용될 수 있는 기술이다. 광 센서부의 광원으로서는 laser diode와 LED를 이용한다. 이들 광원은 해상도나 경제성 등을 고려하여 적절하게 선택되어야 할 것이다. 일반적으로는 저가격의 LED를 사용하고 있다. LED의 파장은 적외광이 주로 이용된다. 그 이유는 적외광의 광원이 주위의 외관광 영향을 줄일 수 있고, 현재 감지기 부분인 Photodiode의 경우 파장 감도가 모든 파장에 대하여 감응하고 있으나, 특히, 적외광 영역에서 최고인 감도를 나타내고 있기 때문이다. 그리고, 실리콘 wafer 위에 도파관을 형성시킬 경우, 그 크기가 수십에서 수백 마이크로미터 단위이므로 위의 광원과 감지기를 그대로 사용하기가 어렵기 때문에 이 문제점의 해결 방법으로서 광파이버(optical fiber)를 이용하여 도파관의 옆면에 삽입할 수 있다. 그림 15는 투과광 방식과 반사광 방식의 두가지 방법에 대해서 세포 융합의 과정과 세포의 흐름 유무를 감지할 수 있는 광센서를 나타

낸 것이다.

### 7. 국내의 광센서의 시장과 수요 및 전망

광 응용센서의 전세계 시장은 1988년도를 기준으로 약 4조원이고 1995년도에는 약 7조원 정도로 될 것이라고 추산된다. 그리고, 1992년도 일본의 광 관련 센서의 생산 실적은 8.5천억엔 정도이고 이는 일본 전체 센서 생산량의 25.2%를 차지하고 있다.

국내 시장 수요로는 1991년도 우리나라 전체 시장 수요 6,120억 원 중 광센서의 수요는 600억 정도로 약 10%를 차지하고 있으며, 국내에서 응용 분야로는 가전제품으로 텔레비전, VTR, 오디오 시스템의 리모콘용과 산업용 기기로 위치 감지, 장애물 감지, 산업용 로봇, 화재 경부, 카운터, 제품 분배, 치수 확인, 분광 측정, 레이저 측정계, 통과 검출 계수, 결함 검출, 식별 분류, 마크 검출 등이 있으며, 최근 자동차 분야의 응용으로 장애물 감지, 실내 조명 조절, 헤드램프제어, 차고(車高) 제어 등이 있다.

국내 광센서는 아래 4개 회사가 전체 시장 수요 600억원의 약 20%를 점유하고 있으나 나머지 80%는 수입에 의존하고 있다. 다음 표 3은 국내 광센서 생산업체와 품목 및 용도를 나타낸 것이다.

광을 이용한 센서는 최근 수년간에 연구 개발이 진전되어 다양성이 풍부하여졌고, 서서히 실용화되고 있는 추세이다. 특히, 광파이버를 이용한 자이로스코프와 같은 광 센서는 항공기나 로켓트, 미사일 등의 탑재 필요성 때문에 기술면에서 급속한 진보를 하고 있다. 광 응용센서에는 광파이버 자이로스코프와 같이 높은 정밀도가 요구되기 때문에 정밀도와 신뢰도의 향상이 필수적이며, 광전계센서와

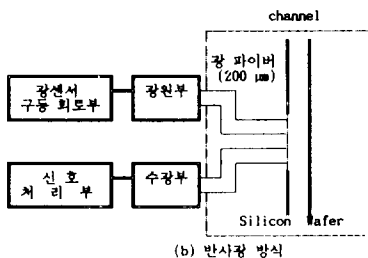
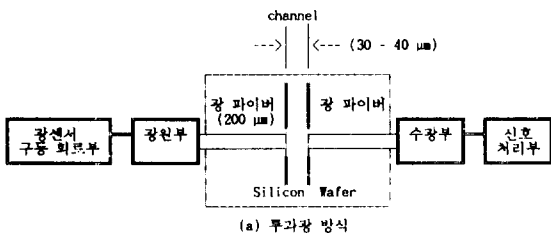


그림 15. 세포 융합용 광 센서

표 3. 국내 광센서 생산 업체와 품목 및 용도

회사명	기술제휴선	생산 품목	용도
금성계전	일본 OMRON	광전센서 근접 스위치	공장자동화 기기
삼성하네켄	일본 YAMATAKE HONEYWELL	광파이버 센서	계측기기 정밀 산업 기기
오토닉스		광전 센서 근접스위치	공장자동화 기기
한영전기		광전 센서	공장자동화 기기

값이 높은 정밀도를 필요로 하지 않는 용도에서 사용되는 센서들도 정밀도의 향상을 통해 보다 넓은 용도로 개발되어 가는 추세에 있다. 또한, 반도체 레이저를 비롯한 광부품의 고성능화와 저가격화의 여건이 광응용 센서의 실용화를 위한 중요한 요인이 될 수 있다.

국내 기술 동향은 광전 센서 및 CdS, CdSe 등 광도전 효과 센서의 수요 및 사용 범위가 계속적으로 증가하고 있으며 바코드 시스템, 영상정보처리 시스템, 이미지 센서 등을 이용한 자동화 장치의 개발 및 실용화가 진행 중에 있다.

### 참 고 문 헌

- [1] 편집부 역편, "센서의 원리와 사용법(1)", 도서출판 세화, 1988.
- [2] 김응목 편, "센서활용의 전자회로", 도서출판 기문사, 1992.
- [3] 백수현 역편, "센서 핸드북", 도서출판 세화, 1990.
- [4] Sekwang Park and Kijin Kwon, "A Study on Optical Sensor for Non-invasive Measurement of Blood Oxygen Saturation", The 7th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators, TRANSDUCERS'93, pp. 555-558, 1993.
- [5] Senichi Masuda, Masao Washizu and Toshiyuki Nanba, "Novel Method of Cell Fusion in Field Constriction Area in Fluid Int-

egrated Circuit", IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 25, no. 4, pp. 732-737, 1989.

- [6] 박세광, 권기진, "세포 융합 감지 시스템 개발", 중간 보고서, 한국학술진흥재단, 1993.



**박세광(朴世光)**

1954년 10월 25일생. 1976년 서울대 공대 전기공학과 졸업(학사). 1984년 미국 Case Western Reserve대 전기전자공학과 졸업(석사). 1988년 동대학원 졸업(공학박사). 1988~1989년 미국 L. VAD Technology사 Project Leader. 1989-현재 경북대 공대 전기공학과 조교수.



**권기진(權奇珍)**

1969년 3월 10일생, 1991년 경북대 공대 전기공학과 졸업(학사). 1993년 경북대학교 대학원 전기공학과 박사과정.