

## 光電子工學(Optoelectronics)

吳 明

陸軍士官學校 電氣工學科 科長, 工博

요즘 optoelectronics(光電子工學)라는 용어를 자주 듣게되고 이에 대한 관심이 증대되고 있다. 이는 光學과 電子工學의 결합으로 그 응용분야가 다양해 졌으며, 또한 집적회로기술의 개발과 理想的 光源인 laser의 출현으로 그 응용범위가 더욱 넓어졌기 때문이다.

光電子工學을 어떻게 定義할 것인가, 또 그 범주를 어느선 까지로 할 것인가에 대해서 정론이 없는 것 같다. 여기서는 간단히 光과 밀접한 관계를 갖는 電子工學의 應用分野를 光電子工學이라고 정의해 두고자 한다.

光電機器는 電氣에너지를 光에너지로 변환시키는 것과, 光에너지를 電氣의 에너지로 변환하는 것, 그리고 入力光에너지가 電氣的 處理過程을 거쳐 다시 光出力으로 변환되는 것을 모두 포함한다.

光電機器를 種類別로 나누어 보면 다음과 같다.

### 1. 光電機器(Optoelectronic Devices)

#### a) Electroluminescent Devices (電氣發光機器)

電氣的 에너지를 光出力으로 바꾸는 기기를 말하며 optical coupling, optical display, illumination 등에 주로 이용된다. 이에 屬하는 것으로 LED, ILED(infrared LED), LASERS,

EL, Nixie관, liquid crystal display, plasma display, CRT 등이 있다.

#### b) Photovoltaic Devices (光起電機器)

電氣發光과는 逆現象으로 光에너지로 부터 電氣的 에너지를 얻는 기기이다. 代表的인 것으로 太陽電池(solar cell)를 들 수 있으며 擴散 GaAs 電池, CuS—CdS 電池, Se—CdS 電池, 그리고 薄膜 GaAs 및 CdS 電池 등이 있다. 이들 太陽電池는 無人中斷局 및 人工衛星, 宇宙船 등의 長期 電力源으로 쓰이고 있다.

#### c) Photoconductive Devices (光導電機器)

光의 세기에 따라 導電率이 변화하는 것을 이용하여 光을 檢出하는 機器로 CdS, FbS, InSb 등을 들 수 있다. 後述하는 赤外線檢出器 역시 光導電機器이다. 이 photoconductor는 매우 광범한 주파수 범위를 가지며 높은 입력레벨에서도 사용할 수 있다. 그러나 낮은 입력레벨 및 초고주파 검출에는 적합치 않다.

#### d) Photodiode (光다이오우드)

感도가 좋아 보편적으로 많이 쓰이고 있는 光檢出器로 p-n junction photodiode, p-i-n photodiode, metal-semiconductor photodiode, point contact photodiode, heterojunction

photodiode, junction phototransistor, photo FET, photo SCR, avalanche photodiode(높은 逆 bias 電壓으로 동작시켜, avalanche multiplication으로 내부전류 이득을 얻는다. 이득-대역폭積이 수백 GHz에 이르며 가장 각광받는 素子の 하나이다.) 등을 들 수 있다.

### e) Photoemissive Devices(光電放出機器)

光電子放出을 이용한 기기로 vacuum phototube, gas filled phototube, photomultiplier tube, photoklystron, TWP(traveling wave phototube), DCFEM(dynamic crossed field electron multiplier), static crossed field photomultiplier, TSEM type multiplier TWP, reflection dynode multiplier TWP 등을 들 수 있으며, 또한 image converter, image intensifier, image orthicon, canneltron 등도 이에 속한다.

### f) Infrared detector(赤外線檢出器)

적외선 검출기에는 PbS, InAs, InSb, PbSe, PbTe, Ge : Hg, Ge : Co, Ge-Si : ZnII, Ge : Cu, Ge : AuI, Ge : Zn, Ge : In 등 헤아릴 수 없을 정도로 많은 종류가 있으며 나열된 순서대로 감응파장이 길어진다. 일반적으로 冷却하면 檢出度가 크게 개선되므로 보통 또는 liquid nitrogen 온도에서 사용한다.

### g) Heat detector(熱檢出器)

熱檢出器에는 복사전력을 측정하는 bolometer 熱電現象을 이용한 thermopile devices, 焦電效果(pyroelectric effect)를 이용한 pyroelectric device 등이 있다.

以上 言及한 光電機器를 이용하는 分野는 이 루 나열할 수 없을 정도로 多樣하며 새로운 利用분야가 계속 개발되고 있다.

몇가지 흥미있는 예를 들면 다음과 같다.

## 2. OPTICAL COMMUNICATION

理論的으로 光波長 領域에서의 通信은 넓은 신호 대역폭과 고속 정보처리가 가능 하므로 未來의 通信方式으로 각광을 받고 있다. 예를 들

면 同時에  $10^{11}$  개의 channel(1개 channel의 대역폭  $10^4$ Hz)을 상호간 간섭없이 동시에 한개의 光束에 변조하며 송신할 수 있다. 실제로 이러한 통신을 실현시키는 데는 많은 문제점이 있지만, 현재의 전송선에 의한 통신방법과 비교할 때 電磁氣的 간섭, 낮은 전자복사, shield에 따른 문제, 전송선의 경량화 등의 문제점에서 光通信方式이 훨씬 有利하다. 또한 光束의 지향성이 좋고 點間通信이 가능하므로 保安通信이 가능하다는 이점을 가지고 있다.

특히 새로운 LASER의 개발과 光변조기 fiber optics, optical IC 등의 개발로 光通信은 눈부신 발전을 하고 있다. 현재 정보처리 속도는 적절한 laser source를 사용하므로써  $10^{12}$  bits/sec 까지 얻어진다.

## 3. OPTICAL IC

보통 microwave 영역에서 사용되는 분포 회로소자의 원리를 光領域에 적용시키려던 소자의 크기가 아주 작아지기 때문에 製作에 문제가 있었지만, 최근 사진술에 의한 제조기술이 개발됨에 따라 이러한 문제점은 해결되어 가고 있다.

사용되는 빛의 파장에 따라서 소자의 크기가 결정되므로 현재로는 근적외선영역(수  $\mu\text{m} \sim 0.8 \mu\text{m}$ )에서의 분포소자가 개발되고 있다.

주로 유리화 반도체인 III-V compound 가 재료로 사용되며 이들에 의해서 optical waveguides, cavity, directional couplers, circulator 등의 수동소자와 modulator, detector 등의 transducer, semiconductor laser와 같은 능동소자가 제조 사용된다. 물론 주파수 합성, 분해 등이 가능하며 고속변조기를 이용하여 복잡하고 속도가 빠른 논리회로를 만들 수 있어서 정보처리 속도의 증가는 물론 기능의 고밀도화도 기대된다.

## 4. 초고속 광변조기

GaAs 內에 高電界領域을 形成시키면 전류펄스(pulse)가 발생한다. 따라서 半導體를 통과하는 빛은 고전계영역을 형성시켰을 때 급격히 감

되된다. 보통 GaAs 內에서 고전계영역에 의한 전류펄스의 rise time이나 fall time은 수백 ps 이므로 이를 통과하는 빛을 고속도로 switching 할 수 있다. 고전계영역의 존재 有無를 1과 0에 대응시키면 光信號의 超高速 gate로 이용할 수 있다. 이러한 논리소자는 보통 optical IC에 이용된다.

또한 고전계영역에 의하여 生成된 電子는 속도가 있으므로 음극에서 양극까지 이동 하는데 시간이 걸리게 된다. 이때 전류방향에 수직으로 빛을 통과시키면 전류펄스의 이동에 따라서 빛이 통과할 수 있는 channel이 이동하게 되어 고속 scanner로 이용할 수 있으며, imaging devices로 사용할 수 있다.

### 5. CCD 및 CID

optoelectronics 界에서 각광받는 機器의 하나로 固體化 TV 촬상기를 들 수 있다. 이것은 고도로 발달된 집적회로 제작기술의 소산이며 종래의 진공관식 촬상관(vidicon, image orthicon)에 비하여 훨씬 작고, 가벼우며 수명이 긴 利點을 가지고 있으므로 몇가지 단점만 해결되면 TV camera의 소형화에 크게 기여할 것으로 전망된다. 종류로는 CCD (charge coupled device)와 CID (charge injection device)가 있다.

CCD는 다수의 MOS 구조전극을 배열한 반도체 박막으로 구성되며 입사된 빛에 의하여 생성된 전하(소수반송자)가 금속의 가장 낮은 곳에 축적되는 현상을 이용하여 전극의 전위를 일정한 순서로 변화시킴으로서 축적된 소수반송자를 전송시켜 영상신호를 만든다. 따라서 출력단에서는 MOSFET로 이 신호를 전기신호로 변환시킨다.

CID는 반도체 박막에 다수의 MOS 구조전극을 행렬로 만들어 넣은 구조를 하고 있으며, 走査方式은 CCD와는 달리 행렬구조의 전극에 어드레스 신호를 넣어서 행한다. 결국 X-Y 어드레스 구조의 전하축적 용량기로 구성되며 각 용량기는 MOS inversion region에서 생긴 광전기를 축적한다. 이렇게 생성축적된 전하를 차

로 반도체 substrate에 주입 시키므로써 생기는 變位電流(displacement current)가 영상신호로 사용된다.

현재까지 개발된 CCD로는 128×160素子(1/2"×3/4")의 것이 RCA에서 개발되었으며, 일반 TV 모니터를 직접 사용할 수 있는 TV system이 완성되었다.

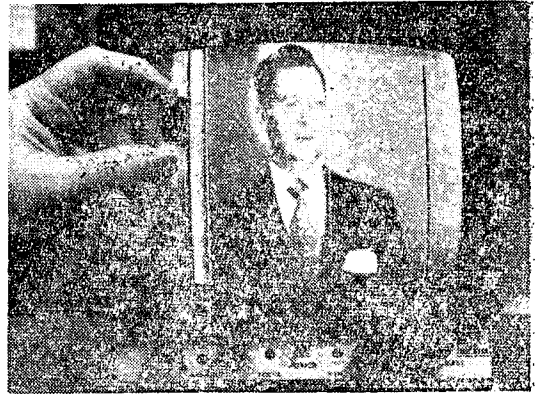


그림 1 RCA의 CCD 및 CCD를 이용한 TV

이미 Fairchild에서는 CCD를 이용한 소형 TV camera를 상품으로 내어 놓았으며 수년內에는 보통의 vidicon을 사용한 TV camera와 큰 경쟁을 벌릴 것으로 예상된다. CID는 CCD보다 dynamic range가 훨씬 더 크며 구조가 간단하므로 제조 과정중 손실이 적고 전하변환효율이 높다. 또한 暗電流 역시 CCD보다 적으므로 信號對雜音비가 우수하다.

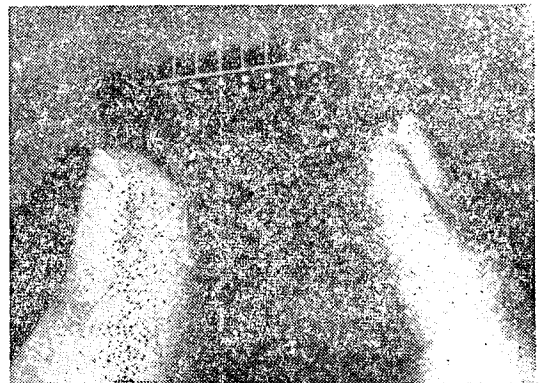


그림 2 G. E.의 CID

이들 CCD 및 CID는 활상기로 쓰이는 것은 물론 기억素子로서도 유용하다. 보통의 기억소자에 비해 기억할 수 있는 정보량 밀도가 높으므로 未來의 기억素子로 등장할 가능성을 가지고 있다.

좀더 간단한 구조인 한줄의 CCD 및 CID(인텔로 배열된 MOS photosensor로서 주사가 가능하다)는 OCR(optical character reader)의 감지기로 쓰이며 전송사진, page/document reader, film scanning) real time spectroscopy, non-contact measurement 등에 응용된다. 전송사진의 예를 들면, 기계적인 주사방식이나 비월주사등 복잡한 주사방법을 전자적으로 간단히 고속도로 처리할 수 있으므로 장비 자체가 아주 소형으로 되며 분해능 역시 놀랄만큼 개선될 수 있다. 또한 몇개의 OCR sensor를 동시에 사용하므로써 많은 정보를 더욱 빠른 시간에 처리할 수 있다.

然色 수상관이 개발될 것으로 기대된다.

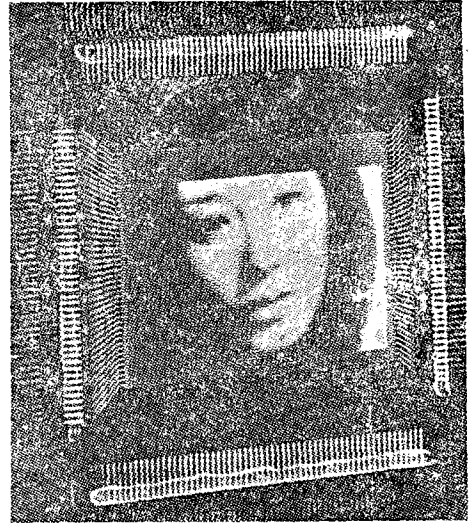


그림 3. EL 을 이용한 화면

## 6. TV 수상관의 교체화

TV System이 발명된 이래 수상관의 평면화는 오랜 꿈이었다. 이것이 최근 성공하였고 머지않아 상품으로 나올 수 있게 되었다.

물론 여러가지 방법이 있겠지만 日本의 sharp에서 ectro-luminescence을 이용한 수상관이 개발되어 良質의 영상을 얻는데 성공했다.

EL은 망간이 첨가된 ZnS를 발광체로 사용했으며 진공증착법으로 증발, 부착시켰다. 절연층으로는 산화규소를 사용했으며 이들을 샌드위치 형태로 3층구조로 제작했다. 발광된 빛은 5800 Å의 분광 peak를 가지며 1500ft-L의 휘도로 종래의 5배까지 얻었으며 수명은 15,000시간 이상으로 종래의 3배나 되었다. 실험에 사용된 수상관은 36×48mm<sup>2</sup>의 유리기판에 투명전극, 절연층, 발광층, 절연층, 금속전극의 순으로 적층되었으며 두께는 2mm이다. 투명전극 120개, 금속전극 90개로 구성되었으며, 보통의 수상관에 비해 구동전압은  $\frac{1}{40}$ , 소비전력은  $\frac{1}{5}$ 이하이다. 주사회로에는 거의 digital IC가 사용되며 곧 8인치것이 시험될 예정이며 멀지 않아 天

## 7. Infrared TV-Thermography

비파괴검사의 한 方法으로 thermography의 이용이 활발해 지고 있다. 이는 대단히 감도가

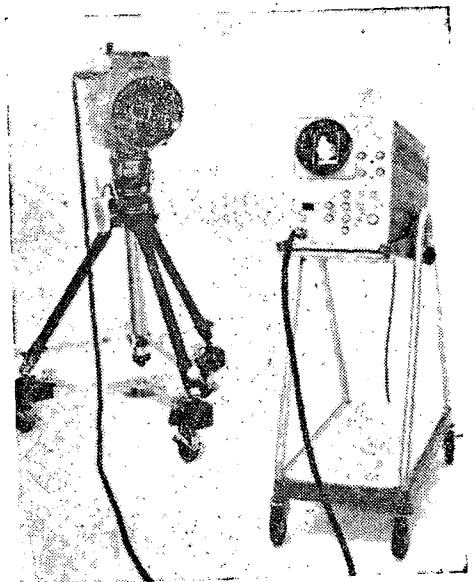


그림 4. AGA 의 Thermovision.

좋은 IR detector의 개발로 성능좋은 기기가 가능해졌기 때문이다.

대표적인 기기로 Sweden의 AGA社가 개발한 Thermovision을 들수 있다. 이 기기는 camera unit와 display unit로 구성되며 IR detector로는 InSb를 쓰고 있다. 초점거리는 2.4m로부터 無限大거리까지 조정가능하며, 상온에서 0.2°C의 溫度分解能(temperature resolution)을 가졌다.

Thermovision은 송배전계통의 검사를 비롯하여 각종 工業用 비파괴검사에 이용되고 있으며



그림 5. Thermovision를 트럭에 싣고 송배선 시설을 검사하는 모양

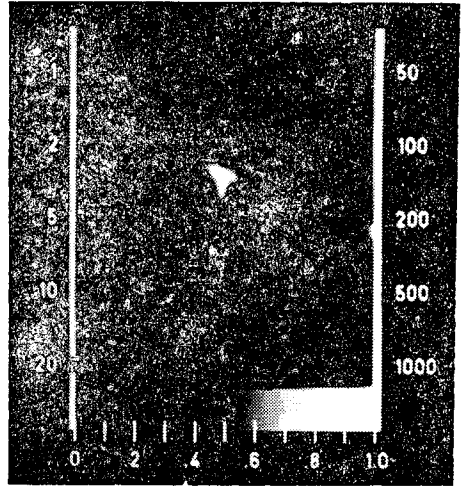


그림 7. Thermovision으로 얻은 畫面 밝은 점이 과열된 부분이다.

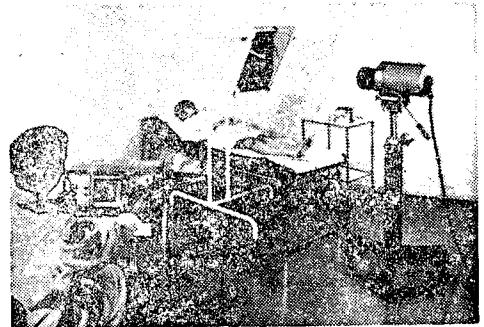


그림 8. Thermovision을 이용하여 환자를 진찰하는 모양

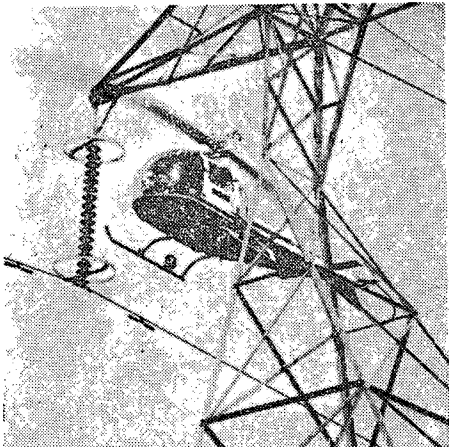


그림 6. Thermovision을 헬리콥터에 싣고 송전계통을 검사하는 모양



그림 9. Thermovision 畫面

醫學에도 널리 이용되고 있다.

그림 5 및 6은 Thermovision 을 트럭 또는 헬리콥터에 싣고, 송배전계통의 고장부분을 검사하는 광경이며, 그림 7의 밝은점으로 보이는 부분이 과열된 곳이다.

그림 8 및 9는 Thermovision 을 이용하여 환자를 진단하는 모양과 그 畫面이다.

### 8. OPTICAL PLAY-BACK

12인치 원판에 40兆의 정보를 넣을 수 있는 optical play-back이 선 보인다. 이는 다이아몬드 바늘 대신 laser 빔을 판에 비치고 반사되어 오는 빔을 photodetector로 수신하여 映像信號 또는 音聲信號를 얻는 것이다. 즉 접촉없이 光學的方法으로 신호를 얻는다.

그림은 MCA社가 개발한 "DISCOVISION"으로 크기는 16.75"×18"×8.5", 무게는 약 40 lbs 정도 되며, 가정에서 쓰고있는 TV 수상기의 VHF 入力에 넣어 사용하지 않는 임의의 channel을 통해 볼 수 있다. 판은 0.01C" 두께의 mylar이며 흑백 또는 color 영상을 제공할 수 있다.

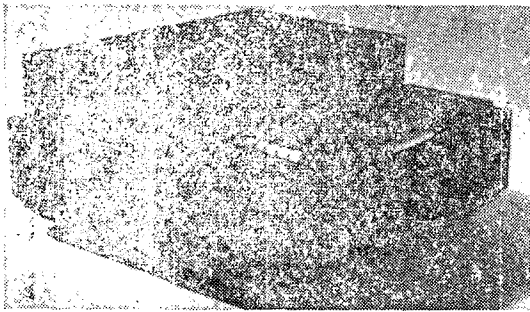


그림 10. Optical play back

### 9. 現代兵器와 OPTOELECTRONICS

간편하고 정확하게 거리를 측정할 수 있는 laser range finder는 많은 분야에 이용되고 있다. 레이저빔을 사용하여 달까지의 거리를 측정한 것은 널리 알려진 사실이다. 거리 측정의 기본방법은 짧은 laser pulse를 발사했다가 목표물을 맞고 되 돌아오는 pulse를 photodetector로 받아 왕복에 걸린 시간을 측정하는 것이다.

laser range finder는 각국의 비행기, 함정, 탱크들에 실려 實戰에 사용되고 있다.

같은 원리를 이용한 laser bomb fuse는 폭탄이나 missile 을 地上 조정된 높이에서 정확히 폭발시켜 위력을 증대시키고 있다.

월남전과 중동전에서 위력을 보였던 smart탄은 laser 광성을 목표물에 비치고 爆彈彈頭에 quadrand photodetector(여러가지 photodetector가 시도되었으나 주로 quadrant p-i-n photodiode가 사용됨)로 수신하여 폭탄을 목표물로 유도하는 방법을 쓰고 있다. 같은 원리로 유도되는 missile도 개발되었다. 그림 11은 laser 照明器이다.

美陸軍은 銃대신 computer와 laser beam을 사용하는 훈련장을 개발하였다. 훈련에 투입되는 兵士, 탱크, 항공기 등에는 銃砲대신 laser beam 발생장치가 부착되어 있으며, 그 射程도 총 및 砲의 종류에 따라 다르다. 또한 이들에게는 photodetector가 부착되어 있어 laser beam에 맞으면 그 정보가 자동적으로 computer에 들어



그림 11. laser 照明器

간다. computer는 laser beam을 발사한 무기의 종류, 거리, 그리고 명중각도 등을 고려해서 被射體의 사살 또는 파괴여부를 판정한다. 따라서 훈련은 더욱 박진감이 있다.

기타 光電子工學의 흥미있는 응용분야가 많으나 지면관계로 이만 주린다.

참고로 光電子工學을 많이 취급하는 美國의 잡지를 소개하면 다음과 같다.

“Optical Spectra”  
 “Laser Focus”  
 “Electrooptical System Design”  
 “Laser Sphere”  
 “Applied Optics”  
 “Optical Engineering”

참 고 문 헌

S.S.Charschan: “Lasers in Industry,” Van Nostrand Reinhold Company, pp. 507—568, 1972  
 S. M. Sze: “Physics of Semiconductor Devices,” John Wiley & Sons, Inc., pp.625—686, 1969  
 H.Melchior, M.B. Fisher, F.R.Arams, “Photodetectors for Optical Communication Systems,” Proc. IEEE, Vol. 53, No. 10, pp. 1465—1468, October 1970.  
 O.M.Friedrich, Jr.: “Optical Data Processing and Optical Communication,” Electro-Optical System Design, pp. 36—39, January 1974.  
 E.T. Price, R.L.Choon, R.Pitts: “The case for laser communication,” Laser Focus, pp. 49—55, June 1974.  
 E.T.Stepke: “Optical Data Links, A Coming Attraction,” Electro-Optical System Design, pp. 28—30, September 1973.  
 R. D. Reynolds: “LEDs for communications,” Laser Focus, pp. 40—41, June 1973.  
 F.M.Mims: “The Outlook in Communications,” Laser Focus, pp. 36—41, September 1974.  
 D.Gloge: “Optical Waveguide Transmission,” Proc of IEEE, Vol. 58, No. 10, pp. 1513—1521, October 1970.

W.K.Pratt, L.S.Stokes, R.Hinckley: “Optimization of Optical Communication Systems,” Proc.IEEE, Vol. 58, No.10, pp.1737—1740, October 1970.  
 F.E.Goodwin: “A. Review of Operational Laser Communication Systems,” Proc. IEEE, Vol. 58, No.10, pp.1746—1752, October 1970.  
 H.C. Salwen: “Error Analysis of Optical Range Measurement Systems,” Proc. IEEE, Vol. 53, No.10, pp.1741—1745, October 1970.  
 J.E.Goell; R.D.Standly “Integrated Optical Circuits” Proc. IEEE, Vol. 53, No. 10, pp. 1504—1512, October 1970.  
 T.K.Gaylord: “Optical Memories,” Optical Spectra pp. 29—34, June 1974.  
 O.N.Tufte, D.Chen: “Optical Techniques for Data Storage,” IEEE Spectrum, pp.26—32, February 1973.  
 J.E.Carnes: “Big chips off the old block,” Optical Spectra, pp.27—28, March 1974.  
 H. K. Burke: “CID’s charting a new course,” Optical Spectra, pp.29—30, March 1974.  
 丹野清彦, 小池紀雄: 固體コアクションミリ, 電子技術 第16卷 第9號特集 pp.23—27, 1974年 9月  
 大楠博信 “テレビカメラ” 上同 pp.33—37  
 T.Windsor: “Thermographic Analysis; Increasing Sophistication in Image Processing,” Optical Spectra, pp.33—34, February 1974.  
 S.B.Borg: “Thermal Imaging with Real Time Picture Presentation,” Applied Optics, Vol. 7, pp.1697—1703, September 1968.  
 R.F.Anderson: “TV-Compatible FLIR(Forward Looking Infra-Red),” Optical Engineering, Vol. 13, No.4, pp. 335—338, July/August 1974.