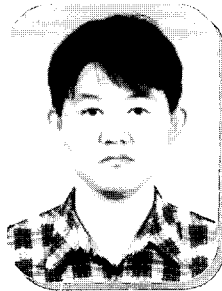


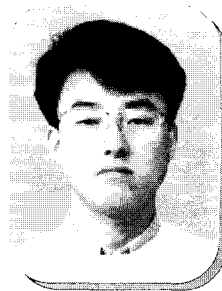
중적외선용 128×1 광 전압형 검광기 제작



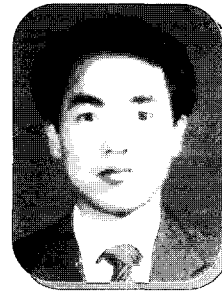
◦ 임남수 ◦
(주)KEC 종합연구소
선임연구원



◦ 김영호 ◦
(주)KEC 종합연구소
선임연구원



◦ 정민석 ◦
(주)KEC 종합연구소
선임연구원



◦ 강대석 ◦
금오공과대
전자공학부 박사과정

1. 서론

세계적으로 HgCdTe 적외선 감지 소자 기술은 양질의 박막을 만들 수 있는 HgCdTe epitaxy 기술의 진보와 더불어 지난 수년간 눈부시게 발전하여 320x240급의 대형 2D-array가 상업화가 가능하게 되었다.

국내 상황을 살펴보면, 지난 10여 년간의 연구를 통하여 HgCdTe 반도체에 관한 물성 및 제작 기술상의 문제점을 찾아내고 이를 해결하려는 많은 노력이 경주되어 단소자, 8x1 PC 소자, 120x1 PC 소자, 128x1 PV 소자 등을 제작하였으나 실제로 시스템에 적용하기는 어려웠고, 이를 극복하기 위해서 수 년 동안 실용 가능한 소자를 제작하기 위한 연구를 진행하였다.

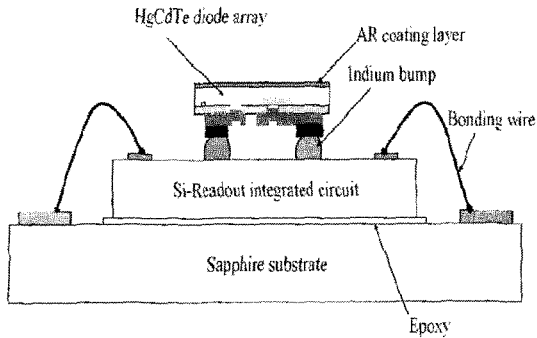
본 논문에서는 지난 수 년 여 동안 노력한 “128x1 광 전압형 검광기”의 실용화 개발 상황을 보고하고자 한다. 이 글의 구성은 다음과 같다. 2절에서 128x1 광 전압형 검광기의 구조 및 설계 사항을 논의하고 이를 제작하기 위한 공정을 3절에서 토의한다. 4절에서 HgCdTe 다이오드 어레이 특성 및 검광기의 광 특성 등의 결과를 토의하고 결론을 맺는다.

2. 128x1 광 전압형 검광기의 구조 및 설계

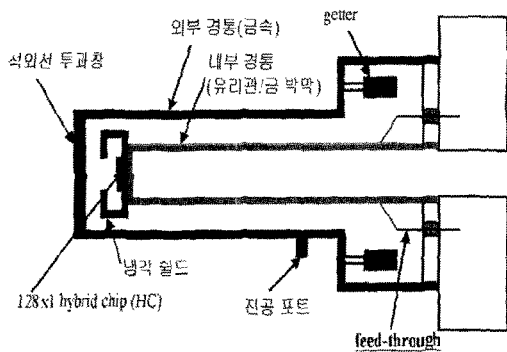
구현하려는 128x1 광 전압형 검광기는 크게 적외선을 감지하

는 하이브리드칩과 이 칩의 동작 온도를 유지하기 위한 듀워(dewar) 패키지로 구분할 수 있다. 그림 1 a)는 하이브리드칩의 구조를 보여주고 있다. 하이브리드칩은 HgCdTe 적외선 다이오드와 Si 회로(Readout IC, ROIC)가 인듐범프(Indium Bump)를 통하여 연결된 형태를 갖고 있다. Si-ROIC는 HgCdTe 다이오드 어레이에서 영상 신호를 받아 증폭하고 순차화 시키는 역할을 하고, 인듐범프는 전기적 기계적으로 HgCdTe 다이오드 어레이와 Si-ROIC를 연결하는 역할을 한다. 제작된 검광기의 전체적인 구조는 그림 1 b)에 나타내었다. 하이브리드칩을 듀워 내부 경통에 고정하고 하이브리드칩과 feed-through간을 전기적으로 연결한 후, 이를 외부 경통으로 감싸서 그 사이를 고진공으로 밀봉한다. 진공으로 밀봉한 것은, 하이브리드칩의 동작온도를 일정하게 유지할 수 있도록 대류(Convection)에 의한 열 교환을 줄이기 위한 것이다. 이 검광기를 냉각하기 위하여 Joule-Thomson 냉각기를 사용한다.

외부의 열이 냉각부위로 유입되는 또 하나의 통로는 내부 경통의 벽이다. 이를 최소화 하기 위하여 냉각 스테이지(적외선 칩이 부착되는 곳)에서 상온으로 노출되는 내부 경통까지는 열전도도가 낮으면서 기계적으로 견고함을 유지할 수 있는 구조/재료로 설계되어야 한다. 이 재료로서는 경질 유리를 사용한다. 또한 사용하는 유리의 두께는 사용환경에 대한 기계적 강도 유지 및 외부 기계 입자의 침투를 방지할 수 있는 최소의 두께로 한다. 적외선 칩(하이브리드칩)에서부터 진공 외부로 나오는 전기적 연결선



(a) 하이브리드칩의 구조.



(b) 듀얼 팩키지의 구조.

그림 1. 검광기의 구조

은 내부 경통의 유리 벽면에 금속 박막을 만들고 이를 여러 가닥으로 잘라 각각을 한 개의 전선으로 사용하는 방법을 택하였다. 이 방법은 비교적 제작이 용이하며 많은 수의 전기선을 구현하는 것이 가능하므로 현재 가장 많이 활용되고 있는 기술이다. 이외에도 듀얼 제작에 소요되는 기술은 유리-금속간의 접합 기술, 적외선 창 의 제조기술 등이 요구된다.

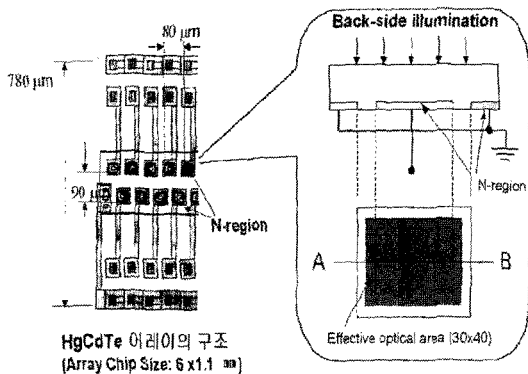
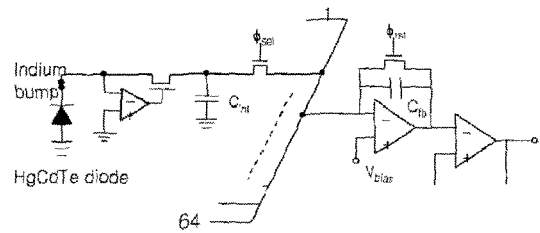


그림 2. 128x1 다이오드 어레이의 제작.

그림 2에는 HgCdTe 다이오드 어레이의 설계도 일부분을 보이고 있다. HgCdTe 다이오드 어레이 구조는 수광면적이 $30\mu\text{m} \times 40\mu\text{m}$ 인 128개의 다이오드가 지그재그로 배열된 선형 어레이(staggered linear array)이며 다이오드 피치가 $80\mu\text{m}$ 이고 지그재그 배열의 피치는 $90\mu\text{m}$ 로 세 픽셀만큼의 차이가 난다. HgCdTe 다이오드 어레이는 CdZnTe 위에 성장한 p-HgCdTe 박막을 사용하여 p-n 다이오드를 만들도록 설계하여 뒷면조사(backside illumination) 방식을 택한다. 뒷면조사 방식의 어레이에서 수광면적을 규정하기 위하여 픽셀로 사용할 다이오드 사이에 p-n 접합을 두어 가능한 한 규정된 p-n 접합 내에서만 수광되도록 하였다. 한편 하이브리드를 위한 범프 패드는 어레이의 양쪽으로 배열하였고 양쪽 범프 사이의 거리는 하이브리드칩의 기계적 안정성을 고려하여 가능한 한 멀리 두었다.



- ◆ Input circuit : BDI(Buffered Direct Injection)
- ◆ Integration capacitance = 1.2pF
- ◆ Charge transferred output stage
- ◆ $0.65\ \mu\text{m}$ CMOS 공정 이용

그림 3. Si-ROIC의 구조.

Si-ROIC는 단위셀 내에 입력회로, 신호 적분을 위한 capacitor와 아날로그 스위치로 구성하고, 각 단위셀의 영상신호는 순차화시켜 두 개의 적분기를 통하여 외부로 내주도록 한다. 즉, 두 개의 출력단자를 가진 회로이며 각 셀의 선택 및 적분기 reset 스위치는 shift register를 통하여 제어하도록 한다. 최대 영상 출력율은 출력당 1 MHz이고 두 출력의 영상신호는 번갈아 가면서 출력되도록 하였다. 그림 3에 설계된 Si-ROIC 회로도 를 나타내었다.

3. 128x1 검광기의 제작

3.1 HgCdTe 다이오드 어레이 및 하이브리드칩

그 동안 진행되어온 국내 연구 결과를 바탕으로 HgCdTe 다이오드 어레이를 제작하였다. 어레이 제작 방법은 다음과 같다. 어레이 제작에 사용된 HgCdTe/CdZnTe 기판은 Fermionics Co. (U.S.A.)로부터 구입한 것으로 CdZnTe 기판 위에 액상적층성장법(Liquid Phase Epitaxy)으로 HgCd-Te를 성장시킨 것을 사용하였다. 절연체로는 열 진공 증착한 ZnS 박막을 사용하였고, p-HgCdTe

에 보론 이온을 주입하여 p-n 접합을 형성하고, p, n 접촉을 형성한 후 금속 라인과 범프 패드를 형성한다. 완성된 다이오드 특성은 저온 프로브-스테이션(LTMP)에서 확인할 수 있다. 특성을 확인 후, 뒷면의 CdZnTe면을 거울 면처럼 연마한 후 ZnS로 비 반사막을 증착하고, 단위 어레이로 잘라 내어 Si-ROIC와 하이브리드할 준비를 한다. 하이브리드칩을 제작하기 위하여 Si-ROIC 기판에 UBM(Under Bump Metal) 구조를 형성한 후, 인듐범프를 10-12 μ m로 세우고 이를 flux를 통한 열처리를 통하여 reflow하여 전기적 기계적으로 안정된 접촉이 되도록 하였다. 플립 칩 본딩 시 인듐을 약간 연화시키기 위해 Si 기판을 70°C로 가열하고 Hg-CdTe 기판을 50°C로 가열하며 0.7Kg의 압력으로 가하였다. 완성된 하이브리드칩은 직경이 10mm인 금속 배선된 알루미늄 기판에 에폭시를 이용하여 부착한 후, 세라믹 패키지에 붙여 wire bonding 하였다. 완성된 하이브리드칩의 사진을 그림 4에 나타 내었다. 제작이 완료된 각각의 하이브리드칩은 저온(77 K)으로 내려 광 반응 시험을 진행하였으며 시험을 통과한 하이브리드칩은 질소 보관함에 보관하였다.

수 차례에 걸친 하이브리드칩 제작에 있어 각 공정에서의 핵심 사항은 다음과 같음을 알 수 있었는데 우선, 다이오드 어레이 제작

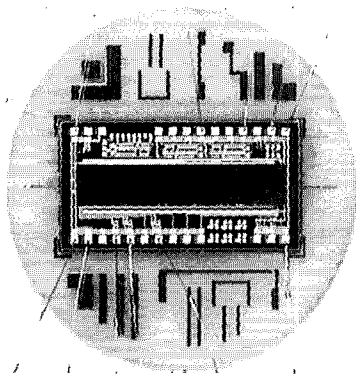


그림 4. 완성된 하이브리드칩.

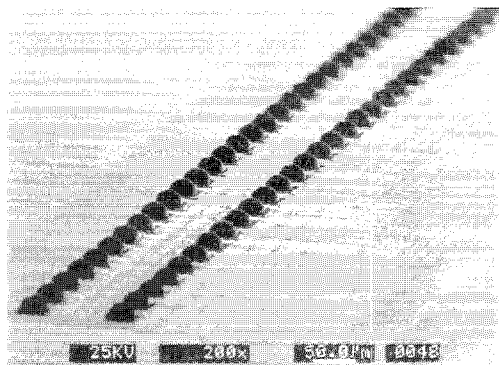


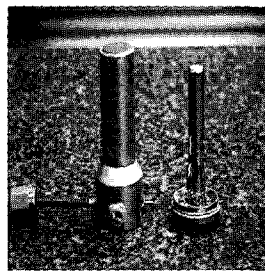
그림 5. Si-ROIC위에 reflow된 인듐범프.

에서 가장 어려운 점은 역시 양질의 HgCdTe 박막의 확보이며 제작 공정 상에서 가장 중요한 점은 기계적, 화학적으로 안정하고 전기적으로 절연성 및 계면 특성이 양호한 ZnS 박막 공정의 확보에 있음을 알 수 있었다. 한편 하이브리드칩 제작에서 가장 중요한 점은 균일한 범프 형성이었다.

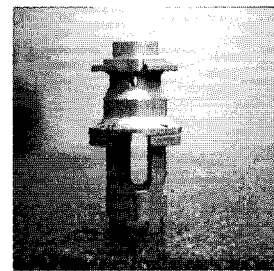
3.2 128x1 PV 검광기의 조립

검광기의 조립공정은 다음의 순서로 진행하였다. 우선 듀워의 내부 경통을 TCE→Acetone→Methanol 순으로 유기 세척을 실시하였다. 이때 듀워의 내부 경통만을 세척하며 외부 경통은 세척을 진행하지 않았는데 그 이유는 듀워의 외부 경통에는 3개의 게터(getter)가 부착되어 있어서 유기 용제 속에서 폭발 위험성이 있기 때문이다.

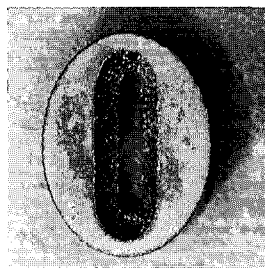
세척이 끝난 내부 경통의 콜드 핑거(cold finger) 위에 이미 제작 및 특성 평가가 완료된 하이브리드칩을 조립 치구를 이용하여 에폭시(epoxy)로 부착하였다. 소자가 부착된 내부 경통은 70°C의 온도에서 약 3시간 정도 에폭시가 충분히 경화될 때까지 curing 한 후 다시 하이브리드칩 위에 2개의 온도센서를 부착하여 3시간 정도 에폭시를 경화시켰다. 경화 후, 내부 경통을 특별히 고안된 본딩용 치구에 고정된 후 하이브리드칩과 내부경통의 Au 막 사이에 50 μ m Au 선을 이용 볼 본딩(ball bonding)하였다. 본딩 순서는 하이브리드칩에 첫 번째 본딩을 실시하고 내부 경통 쪽에 두 번째 본딩을 실시하였는데 두 번째 본딩 쪽의 본딩 강도를 높이기 위해 다시 볼 본딩을 해주었다. 본딩이 완료된 후에는 코바(kovar)로 제작된 콜드 실드(cold shield)를 역시 에폭시를 이용하여 부착한 후 경화시켰다.



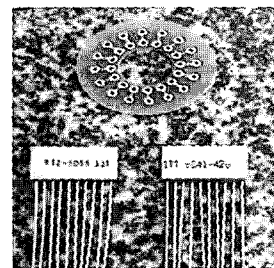
(a) Outer & Inner flask.



(b) Jacket.



(c) Cold Shield.



(d) Connector PCB & Socket.

그림 6. 128 x 1 PV 적외선 감지기 부품.

콜드셴드 조립은 하이브리트칩과의 정렬에 주의하여 조립을 실시하여야 한다. 이는 검광기의 F#를 결정하는 중요한 요소이기 때문이다. 콜드 셴드를 부착한 후에는 콜드 셴드 위에 다시 콜드 필터(cold filter)를 에폭시를 이용하여 부착하였다. 콜드 필터의 에폭시 경화가 완전히 끝나면 내부 경통과 외부 경통을 soldering하였다. soldering에 사용한 solder는 Pb/Sn(67/33)계 solder를 이용하였다. soldering이 완료된 후에는 검광기는 He 누설 감지기를 이용, 누설 시험을 실시하였으며 누설 시험을 통과한 검광기는 bake-out & evacuation 공정을 진행하였다. bake-out 온도는 약 70~80°C로 진행하였으며 배기시간은 약 150시간에서 200시간 동안 진행하였다.

검광기 내부의 수분 및 잔류가스를 충분한 진공 배기를 통하여 제거한 후에는 게터를 활성화 하였다. 게터 활성화는 15초 간격으로 0.5A씩 전류를 상승시켜 가면서 6.3A까지 전류를 흘려준 다음 6.3A에서 약 30분을 유지시켜 게터가 충분히 활성화 되도록 유도하였다.

게터 활성화 공정이 끝나면 특수 고안된 절단 기계를 이용하여 진공 선을 절단하여 봉합하는 공정을 진행하였다. 이 장비는 유압식으로 작동하며 절단 공구 부분이 두 개의 원통형의 날로 되어 있어 이 두 날에 순간적으로 강한 압착력이 가해지면서 진공 선이 잘린다. 봉합된 진공선은 끝이 매우 날카롭고 매우 얇아 기계적으로 약하기 때문에 torr seal을 이용하여 보호하였다. 내부 경통 및 외부 경통의 조립이 끝난 검광기는 시스템에 장착을 용이하게 하기 위하여 알루미늄으로 제작한 자켓(jacket)을 부착하였다.

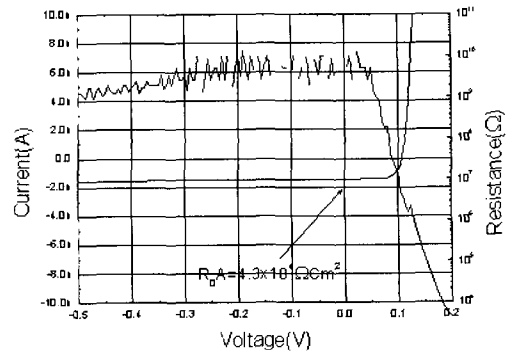
자켓은 2개의 부분으로 나뉘어져 있으며 우선 상부의 자켓을 조립이 끝난 듀위에 특별히 고안된 치구를 이용하여 정렬한 후 듀위와 자켓 사이에 실리콘 고무로 채운 후 약 60°C의 온도에서 24시간 이상 경화시켰다. 경화가 완료된 상부 자켓과 하부 자켓을 연결하고 핀 구성에 따라 커넥터 PCB 및 소켓을 연결하였다.

제작이 완료된 검광기는 광특성 측정 장비인 RTB 3000을 이용 광특성 및 냉각특성 시험을 진행하였다.

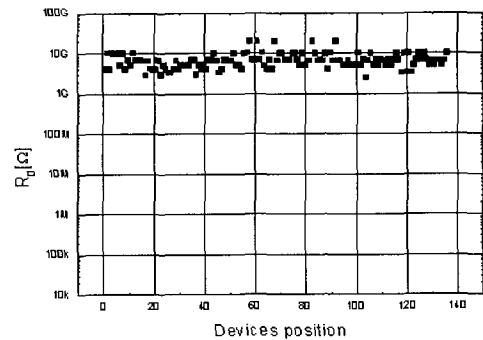
4. 제작한 128x1 검광기의 특성

4.1 HgCdTe 다이오드 어레이

그림 7-a)에는 제작한 다이오드의 대표적인 전류-전압 곡선을 나타내었다. 저온 프로브 스테이션에서도 제로 바이어스에서의 동저항 값이 수GΩ 정도를 보이고 있으며, 순방향 특성 및 역방향의 누설 전류도 0.5V까지 거의 증가하지 않음을 볼 수 있다. RoA로 환산하면 약 $3 \times 10^4 \Omega \text{cm}^2$ 로 배경에서 오는 광량값을 약 $9.23 \times 10^{15} \#/\text{cm}^2$ 로 생각하면 상당히 양호한 특성을 보인다. 이러한 RoA 값은 dark 상태에서 약 100배 정도 더 큰 값을 가질 것으로 추정된다. 한편 역방향 전류 곡선이 약 1V 근처까지 큰 증가 없이 유지할 수 있는데 이는 역방향 전류 특성이 표면 또는 계면특성에 지배되는 것이 아니고 HgCdTe 벌크 특성에 의하여 지배되는 것으로 판



(a) 전류-전압 특성.



(b) 어레이의 Ro 분포.

그림 7. 저온 프로브 스테이션에서 다이오드 특성.

단되며, 이는 ZnS 층의 절연 특성은 물론이고 HgCdTe와의 계면 특성이 상당히 양호한 상태를 나타내고 있다. 그림 7-b)에는 다이오드 어레이의 Ro분포를 보이고 있다. 전체적으로 균일한 특성을 보인다. 이러한 다이오드를 균일한 어레이로 만들 수 있는 공정을 확보하였다는 점에서 제작 공정은 확립되었다고 말할 수 있을 것이다.

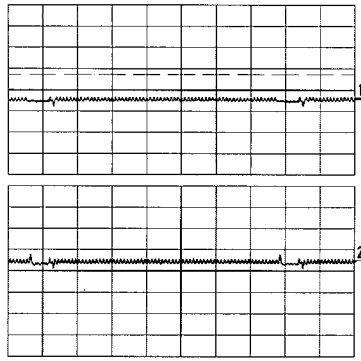
4.2 128x1 검광기

그림 8에는 128x1 검광기의 두 개 출력 파형을 보이고 있다. 광이 있을 때와 없을 때를 비교하면, 64개의 광 반응을 관찰할 수 있다. (실제로 픽셀 수는 128개에 8개를 여분으로 더한 136개이다) 그림 8에서 볼 수 있듯이 비교적 균일한 광 반응임을 관찰할 수 있다. (실제로 픽셀 수는 128개에 8개를 여분으로 더한 136개이다) 그림 9에는 검광기의 탐지도를 나타내었다. 이 그림에서 관찰할 수 있듯이 검광기의 탐지도(D*)는 $2 \text{E}11 \text{cm}^2 \text{Hz}^{-1} \text{W}^{-1}$ 이상의 우수한 특성을 보였으며, 반응의 불균일도(non-uniformity) 측면에서 현재 10% 이내를 만족할 수 있는 검광기를 제작할 수 있다. 한편 검광기의 양자 효율은 70% 이상을 상회하는 특성을 보인다.

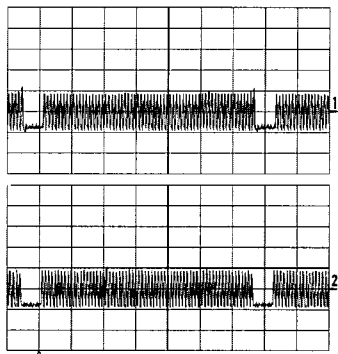
지금까지 적외선 검광기의 제작과정 및 특성을 살펴보았다. 현

5. 결론 및 요약

국내 HgCdTe 관련 연구결과를 토대로 한 중적외선용 128x1 광전압형 검광기의 실용화 개발은 완성 단계에 있다고 판단된다. 128x1 HgCdTe 다이오드 어레이 제작 공정과 실리콘 ROIC의 설계 구현하였고 이들을 하이브리드화 할 수 있는 기술을 확보하였다. 확보한 기술로 제작한 HgCdTe 다이오드는 배경 복사 광이 입사하는 상태에서도 RoA가 104Ωcm² 이상임을 보였다. Si-ROIC와 HgCdTe 어레이를 하이브리드화하는 공정 기술도 확보하였으며, 듀얼 패키징 공정을 거쳐 최종 완성된 검광기의 광반응은 SNR비가 약 1100정도로 이는 사용 가능한 수준임을 보였다.



(a) 배경신호.



(b) 광이 조사될 경우 신호.

그림 8. 하이브리드칩의 광특성과 신호 측정값.

재의 공정으로 제작한 HgCdTe 다이오드 어레이는 사용 가능한 수준을 유지하고 있으며 최종 완성된 검광기의 광 반응 특성도 사용할 수 있는 수준임을 보였다. 전체적으로 검광기의 광 반응을 종합할 때 사용 가능한 수준이라 판단하며, 환경 조건 및 신뢰성 문제를 확인하여 사용할 수 있을 것으로 판단된다. 앞으로 전체적으로 수율을 향상시키고 신뢰성을 입증하여야 하며 광 반응의 불균일도를 더욱 개선하여야 할 것이다.

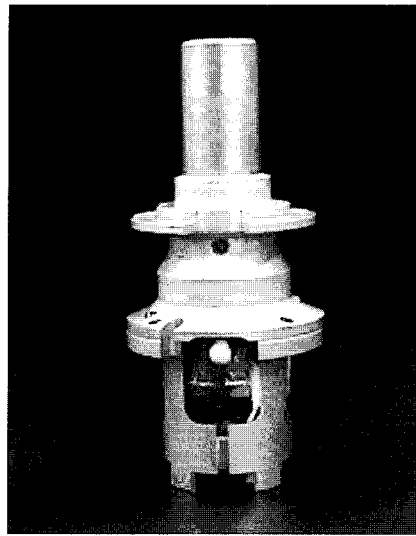


그림 10. 128x1 PV 검광기.

감사의 글

본 연구는 국방과학연구소(ADD)의 연구 개발비를 지원받아 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] A. Rogalski, Infrared Photon Detectors, (SPIE Optical Engineering Press).
- [2] R. K. Willardson, Semiconductors and Semimetals, Volume 18 (Academic Press, 1981).
- [3] Y. Nemirowsky, D. Rosenfeld, R. Adar, and A. Kornfeld, J. Vac. Sci. Tec. Vol. A7 Mar/Apr, 1988.
- [4] D. K. Blanks, J. D. Beck, M. A. Kinch, and L. Colombo, J. Vac. Sci. Tec. Vol. A6 Jul/Aug, 1988.

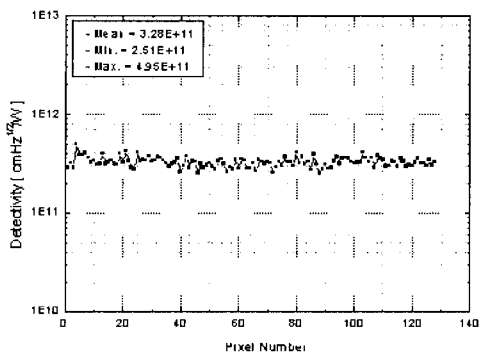


그림 9. 검광기의 탐지도.

- [5] A. Rogalski and J. Rutkowski, Infrared Phys. Vol. 22, p. 199, 1982.
- [6] Y. Nemirowsky, J. Vac. Sci. Tec. Vol. A8, p. 1185, 1990.
- [7] P. K. Chakraborty, Solid State Electronics Vol. 34, No. 6, p. 665, 1991.
- [8] E. L. Dereniak and G. D. Boreman, Infrared Detectors and Systems, (John Wiley & Sons INC).

저 자 약 력

성 명 : 임남수

❖ **학 력**

- 1994년 동아대 물리학과 공학사
- 1996년 동아대 대학원 물리학과 이학석사

❖ **경력**

- 1996년 - 현재 (주)KEC 종합연구소

성 명 : 김영호

❖ **학 력**

- 1993년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학사
- 1995년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사
- 2000년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학박사

❖ **경력**

- 2000년 - 현재 (주)KEC 종합연구소 선임연구원

성 명 : 정민석

❖ **학 력**

- 1994년 충남대 재료공학과 공학사
- 1996년 충남대 대학원 재료공학과 공학석사

❖ **경력**

- 1996년 4월 - 현재 (주)KEC 종합연구소 선임연구원

성 명 : 강대석

❖ **학 력**

- 1987년 광운대 전자재료공학과 공학사
- 1998년 금오공과대 전자공학과 공학석사
- 2002년 금오공과대 전자공학과 박사과정

❖ **경력**

- 1986 - 2002년 (주)KEC 종합연구소

