

A Study on Radiation Hardening of a Infrared Detector

李南昊[†] · 金承鎬^{*} · 金泳湖^{**}
(Nam-Ho Lee · Seung-Ho · Young-Ho Kim)

Abstract - A study on radiation hardening of infrared(IR) detector, the chief component of IR camera was performed. The radiation test on IR sensor passivated with the ZnS by Co⁶⁰ gamma-ray over 1 Mrads showed the reduction in Ro by 1/100 which was related to the noise level. This effect that was caused by carrier trapping in the ZnS passivation layer increased the leakage current and resulted in degradation in the device performance. For the radiation hardening of IR devices we suggested the ones with CdTe passivation layer which had a tendency to reluctant to carrier trapping in its layer and developed test patterns. Radiation test to the patterns showed that the our CdTe passivated device could survived over 1Mrad gamma-ray dose.

Key Words : Infrared, Camera, Radiation, Detector, MCT, Hardening

1. 서 론

적외선 열상시스템은 민간용으로 인체의 온도 분포를 측정하여 질병의 여부를 판단할 수 있는 의료용 열상시스템으로부터 단순 제품이나 시스템의 불량여부와 원인을 판단하는 산업용 열상시스템과 건물의 균열이나 단열 상태를 비접촉 방식으로 감지하는 분석장치에 이르기까지 그 용도가 광범위하다. 이러한 열상 시스템은 원자력 관련 분야에도 적용 가능하다. 원자로 전면에 위치한 칼란드리아의 이상 동작 여부를 열상시스템을 이용한 열 분포 계측을 통해서 확인 할 수 있으며 미세한 흡이 발생하여 중수를 누출시키는 배관의 위치를 감지할 수 있을 것으로 예상된다. 또한 최근 우주관측용이나 인공위성에 탑재되어 행성의 대기 분석과 더불어 지구의 환경탐사에도 이용되고 있다. 이와 같이 열상카메라가 원전이나 우주관측용으로 활용되기 위해서는 내방사선화가 필수적이다. 현재 열상장비의 내방사선화에 대한 연구는 미국 NASA와 유럽 선진국을 중심으로 활발히 진행 중이다.

본 논문에서는 원전 고방사선 구역내 주요기기에 대한 이상상태 감지와 인공위성용으로 활용 가능한 내방사선 열상시스템의 개발을 위한 국내 첫 시도로서 열상카메라의 핵심부품인 열상반도체 센서에 대한 내방사선화를 연구하였다. 우선 일반 열상용 센서에 대한 방사선 시험평가와 이를 통한 방사선에 취약한 원인을 분석하였고, 시험 결과를 반영하여 내방사선 성능이 향상된 소자를 설계 제작하였다. 방사선 평가시험 결과 제작된 소자의 내방사화 특성은 10kGy(1Mrad) 이상임을 확인하였다.

2. 적외선 탐지소자의 방사선 특성

2.1 적외선 탐지소자의 특성변수

적외선 감지 소자의 성능은 적외선 감지 소자가 갖는 잡음의 크기가 작을수록 우수하며, 잡음성분으로 나타낸 관계식에서 다이오드의 저항값 R_d 은 감지도에 비례한다. 그러므로 제로 바이어스에서의 소자 저항값과 소자 면적을 곱한 R_0A 를 광전압형 탐지소자의 성능을 판단하는 가장 효율적인 기준값으로 사용하며 정의는 다음과 같다.

$$R_0A = \frac{kT}{e^2 n_i^2 t} \quad (1)$$

(k : 볼츠만 상수, T : 온도, p : 정공 농도, e : 전자하, n_i : 진성전하 농도, t : 소자 두께)

2.2 ZnS 절연막 MCT 센서의 방사선 특성

먼저 일반적으로 사용되는 상용 적외선 소자의 내방사선 특성평가 시험을 수행하였다. 사용된 소자는 ZnS 절연막을 사용한 단일 칩 MCT(HgCdTe) 다이오드로 자세한 물리적 전기적 사양은 표 1에 나타나있다.

표 1. ZnS 절연막 MCT IR 소자 사양

Table 1. The specification of MCT IR device with ZnS passivation layer

	Sample A
Material	Hg _{1-x} Cd _x Te
Composition	X = 0.29
Cut-off Wavelength	5.1um at 77K
Conduction Type	p-type
EPD	< 5e5 /cm ²
Junction Area	200 um x 200 um
RoA	1e6 Ωcm ²

[†] 교신저자, 正會員 : 韓國原子力研究所 先任研究員 工博
E-mail : nhlee@kaeri.re.klr

^{*} 正會員 : 韓國原子力研究所 責任研究員 工博

^{**} 正會員 : 아이쓰리시스템(株) 部長 工博

接受日字 : 2005年 7月 7日

最終完了 : 2005年 9月 21日

이 MCT 소자는 국내(i3system(주))에서 독자적으로 개발한 것으로 국방분야에서 우수한 성능을 인정받고 있으며 자체적으로 물성 및 구조의 변경 제작이 가능하다는 장점으로 인해 본 연구에서 시험샘플로 선정하였다. 이 냉각형 적외선 소자는 그림 1과 같은 항온진공유지장치(Dewar) 내에서 액체질소에 의한 냉각상태에서 안정적으로 사용이 가능하다.



그림 1. MCT 소자
Fig. 1. A MCT device

ZnS로 표면 보호된 소자의 감마 방사선에 의한 성능 변화를 측정하기 위해서 한국원자력연구소의 고준위 감마선(Co-60) 조사시설에서 방사선 조사시험을 수행하였다. 조사된 감마선량은 시간당 2kGy였고 총 조사시간은 5시간이었다.

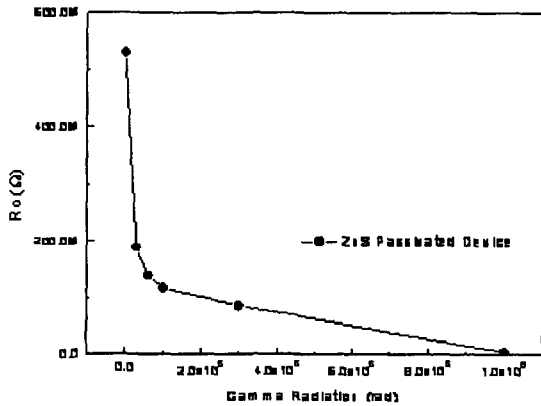


그림 2. 감마선 조사량에 따른 Ro값의 변화
Fig. 2 The variation of the Ro to the Gamma-ray dose

그림 2는 감마 방사선에 따른 Ro 값의 특성 변화이다. 3kGy에서 이미 Ro 값이 1/5로 감소하고 있다. 이러한 Ro 값의 변화는 소자의 잠음으로 볼 때 2배 정도 증가하는 것이며, 소자 전체의 성능도 2배 정도 저하된다. 10kGy(1Mrad) 이상의 감마선 노출 시 소자의 Ro 값은 1/100로 떨어지며 이 때 소자 성능은 1/10로 감소할 것으로 예측된다.

실험 결과에서 나타난 Ro 값의 변화의 원인은 ZnS로 표면 보호된 HgCdTe 소자가 방사선에 조사될 경우 전자와 홀을 매우 잘 잡는 ZnS의 특성 때문에 방사선 노출량에 따라 매우 큰 표면 고정전하가 발생되고, 이로 인해 소자의 표면 상태가 변화하여 매우 큰 표면 누설전류가 발생되기 때문인 것으로 추정된다. 이 증가된 표면 누설전류는 잠음 증가와 함께 결국 소자의 특성을 떨어뜨리게 되는 것이다. 즉 감마 방사선 조사에 의해 소자 표면에 (+) 고정 전하가 발생된 경우 n과 p 사이에 전류가 흐를 수 있는 채널(Channel)이 발생하여 소자의 RoA 값이 떨어지게 되며, 표면에 (-) 고정전하가 발생된 경우 공핍 영역이 좁아지게 되어 터널링(Tunneling) 전류가 발생되기 때문이다. 두 경우 모두 소자의 RoA값이 감소하는 결과가 나타난다. 따라서 내방사선 HgCdTe 적외선

소자를 제작하기 위해서는 방사선에 의해서 표면 고정전하가 발생되지 않도록 하는 것이 중요하다.

3. CdTe 보호막을 이용한 내방사선화 연구

3.1 CdTe 보호막 특성

ZnS를 표면 보호막으로 사용하여 제작된 소자가 감마방사선 조사에 의해 특성이 크게 변화되는 것을 확인하였고 그 원인이 ZnS 내에 트랩된 전자에 의한 것이라는 분석 결과를 바탕으로 내방사선 소자를 제작하기 위해 표면 보호막으로 ZnS 대신 CdTe를 채택하였다. 표면 보호막으로 CdTe를 사용할 경우 방사선에 의해서 표면 고정전하가 적게 발생할 뿐 아니라, HgCdTe와 CdTe의 상호 확산에 의한 표면 전위가 발생할 것으로 예측된다.

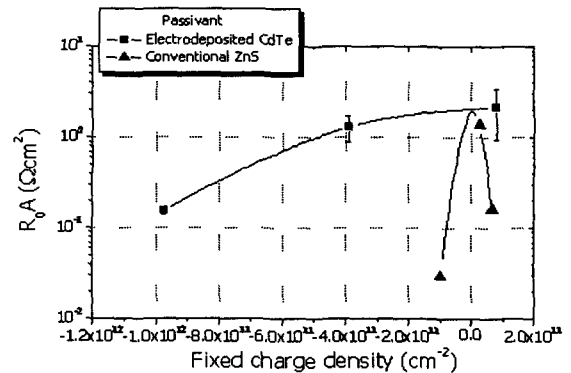


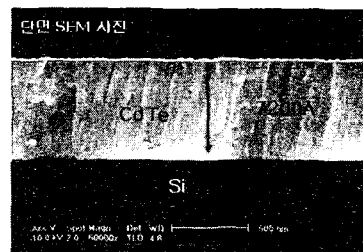
그림 3. 표면보호물질에 따른 고정전하 영향
Fig. 3. The Effect to the fixed charge by two surface protecting materials

그림 3은 CdTe와 ZnS 표면 보호막을 사용할 때 표면 고정전하의 크기에 따른 RoA 변화다. CdTe를 사용한 경우 표면 고정전하에 의한 RoA 값에 영향이 작다는 것을 확인할 수 있다.

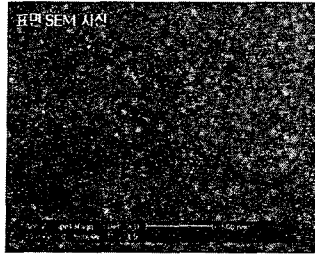
3.2 CdTe 보호막 개발

기존의 ZnS를 증착기를 개조하여 CdTe를 증착하였다. CdTe는 2~3mm의 지름을 갖는 Pellet형으로 99.999%의 순도를 갖는 것 소스를 사용하였다. 그림 4(a)는 0.5 Å/sec로 실리콘 기판에 증착된 CdTe의 단면 SEM 사진이다. 7200 Å의 CdTe가 증착되어 있으며 Columnar 구조를 갖고 있는 것을 알 수 있다. 이것은 기존의 ZnS와 동일한 구조이며, 열충격을 했기 때문에 생기는 구조로 생각된다. 그림 4(b)는 표면 사진이다. 치밀한 구조를 보이고 있으며 절연막으로 사용할 것으로 판단된다.

표 2는 증착된 CdTe의 EDAX 분석결과이다. Cd와 Te의 Atomic Percent가 49.7%와 50.29%로 1:1로 포함되어 있음을 알 수 있다. Cd와 Te가 1:1로 있을 때 가장 절연성이 우수한 것으로 알려져 있다.



(a) Cross section



(b) Surface

그림 4. SEM 사진

Fig 4. Photos by SEM

표 2. 증착된 CdTe의 EDAX를 이용한 성분 분석

Table 2. Chemical analysis of CdTe using EDAX

Element (atomic no.)	Weight Percent	Normalized Wt Percent	Atomic Percent	Count Err. (sigma wt %)
Cd (48)	46.2506	46.5457	49.7089	0.5623
Te (52)	53.1153	53.4543	50.2911	0.7297

그림 5는 ZnS/CdTe/HgCdTe의 AES Depth Profile이다. Cd와 Te가 1:1로 분포하고 있음을 알 수 있으며, HgCdTe와 CdTe사이에서 2000Å 정도 상호 확산된 영역이 발생한 것을 알 수 있다. 따라서 열증착된 CdTe 보호막이 소자 제작에 적합한 구조를 갖는 것을 확인할 수 있다.

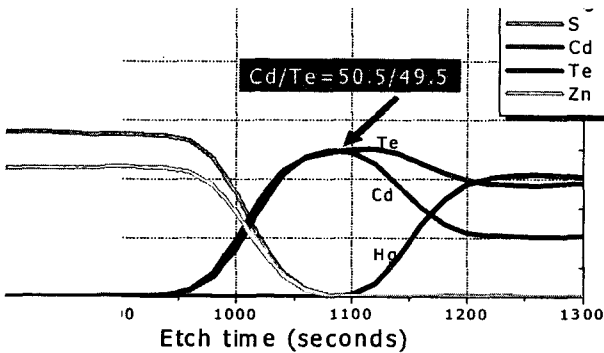


그림 5. ZnS/CdTe/HgCdTe의 AES Depth Profile

Fig. 5 AES Depth Profile of a ZnS/CdTe/HgCdTe

개발된 CdTe 표면 보호막으로 다이오드 소자를 제작하였다. 그림 6은 제작된 소자 집합체의 실제 사진이다. 여기에는 변수별 특성분석을 위한 다양한 소자가 함께 제작되어 있다.



그림 6. 제작된 소자의 사진

Fig. 6 Photo of a manufactured device

3.3 CdTe 보호막 MCT 적외선 소자의 방사선 특성

이 소자를 Flip Chip 하여 앞에서의 ZnS로 제작된 소자와

같은 조건으로 고준위 방사선원을 이용하여 방사선 영향을 측정하였다. 그림 7은 CdTe 소자의 감마선 노출 시 Ro 값의 변화를 측정한 것이다. ZnS로 표면 보호된 소자의 감마선에 따른 Ro값의 변화도 같이 표시되어 있다. CdTe로 표면 보호된 소자의 경우 ZnS로 표면 보호된 소자와 달리 1 Mrad의 감마선 조사에도 그 성능변화가 없는 것을 알 수 있다. 한편 방사선 조사시험 초반에는 오히려 성능이 좋아지는 특징이 나타났는데, 이 현상은 방사선 조사에 의해 소자가 원래 가지고 있던 결함(Defect)이 방사선에 의한 셰이킹(Shaking)으로 어닐링되는 현상으로 판단된다.

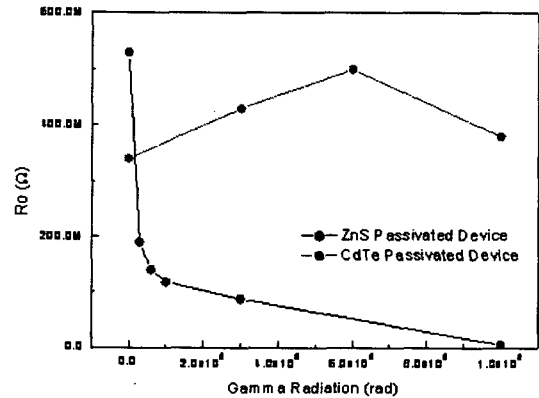


그림 7. CdTe 소자의 조사 감마선량에 따른 Ro 변화

Fig. 7 The Ro variation of CdTe device to the gamma-ray dose

4. 결 론

본 연구에서는 내방사선 열상카메라를 개발을 위한 기초연구로서 내방사선 열상카메라의 핵심 부품인 적외선 센서의 내방사선화에 대한 연구를 수행하였다. 이를 위해 우선 일반 열상 소자의 방사선에 의한 영향을 분석하였다. 기존 ZnS를 이용하여 표면 보호된 적외선 소자의 경우 1 Mrad 이상의 감마선에 의해서 소자의 잡음을 결정하는 Ro 값이 1/100 이하로 감소하는 것을 확인하였다. 이러한 현상은 방사선에 의해서 발생한 전자와 홀이 ZnS 표면보호막 내의 결함에 잡혀서 표면 고정전하로 작용하기 때문이다. 이 문제를 해결하기 위해서 발생한 전자와 홀을 잡지 않는 특성을 가지고 있는 CdTe를 이용한 표면보호막을 개발하였다. 기존의 ZnS 증착기를 CdTe 증착기로 개조하여 소자를 설계하고 제작하였다. 제작된 CdTe센서에 대한 방사선 특성시험에서 1 Mrad까지의 감마선 조사에 대해 열상소자의 성능이 잘 유지됨을 확인하였다. 본 연구를 통해 이루어진 열상시스템 핵심센서의 내방사선화 기술은 향후 내방사선에 대한 핵심기술로서 활용하여 원전의 고준위 방사선 구역 관측용 및 우주관측용과 인공위성용 내방사선 열상 카메라 개발에 활용될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] E.L.Dereniak, G.D. Boreman, Infrared Detectors and Systems, 1st Ed., John Wiley & Sons, New York (1996), chap. 1.
- [2] R.S. Muller, T.I. Kamins, Device Electronics for Integrated Circuits, 2nd Ed. Wiley, New York, (1986)
- [3] R. Adar, "Spatial integration of direct band to band tunneling currents in general device structures", IEEE Trans. Electron. Device 39, 976, (1992) Instruments & Methods, vol.121, pp.169~179, 1974.