

Thema

# | 상온 반도체 방사선 계측기 연구 동향

**박 세환** 선임연구원  
(한국원자력연구소 미래원자력기술개발단)  
**김 용균** 책임연구원  
(한국원자력연구소 미래원자력기술개발단)

## 1. 서론

상온 반도체를 이용한 최초의 방사선 계측은 1945년 Van Heerden이 AgCl 결정을 낮은 온도까지 낮추어서 알파선, 베타선, 감마선을 측정한 연구 결과이다. 그 당시 방사선 계측은 주로 가스 및 섬광형 검출기를 이용하여 이루어지던 상황에서 반도체를 이용한 방사선 계측은 새로운 시도로 주목을 받았다. 그러나, 당시 제작되었던 반도체 검출기는 많은 단점을 가지고 있어서 방사선 검출기로 널리 쓰이리라고는 예상하지 못했었다. 특히 단일 원소 결정의 반도체는 방사선 계측기로 사용하기 힘들 것이라는 인식이 널리 퍼져 있었다. 그러나, 1949년 McKay 등이 게르마늄을 이용하여 Polonium에서 발생하는 알파선을 측정하였으며 그 후 급속하게 성장한 반도체 공학에 힘입어 실리콘과 게르마늄을 이용한 방사선 계측기는 성공적으로 제작되었고 현재 널리 쓰이고 있다.

반도체 검출기는 기체나 섬광형 등의 다른 방사선 검출기에 비하여 큰 장점을 지니고 있다. 반도체 검출기 밀도는 기체 검출기에 비하여 월등히 높으므로 작은 부피로도 높은 에너지의 방사선을 측정할 수 있다. 또한 섬광형 검출기는 방사선을 광자로 변환시킨 후 이를 다시 전기적 신호로 변환시키는 두 단계를 거쳐서 방사선을 계측하지만 반도체 검출기는 방사선을 전기적 신호로 직접 변환하여 방사선을 측정하게 된다. 특히 반도체 검출기는 섬광형 검출기에 비하여 일반적으로 월등히 높은 에너지 분해능을 가지는 장점을 가지고 있다.

실리콘이나 게르마늄 검출기의 단점은 반도체 단결정의 원자수가 낮아서 방사선 검출효율이 작거나 결정의 에너지 밴드갭이 작아서 상온에서 Dark Current가 커서 검출기로 쓰기에 적합하지 않다는 점이다. 이를 보완하기 위하여 결정 구성 원소의 원자수가 크고 상온에서 열에 의한 노이즈를 충분히 줄일 수 있도록 에너지 밴드갭이 큰 상온 반도체 방사선 검출기에 대한 연구가 진행되어 왔다. 또한 검출기로 쓰이기 위해서는 결정 내의 전하 Carrier Mobility와 Drift Time이 크고 결정을 성장하기에 용이

하며 비용이 적게 들고 결정을 가지고 공정을 진행하기가 용이하여야 한다. 이러한 조건을 만족할 수 있는 반도체 검출기로 최근 GaAs, HgI<sub>2</sub>, InP, CdTe, CdZnTe 등의 화합물 반도체에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 본 기고에서는 최근 널리 연구되고 있는 CdZnTe, CdTe와 그 외의 상온 화합물 반도체 연구 동향을 소개하고자 한다.

## 2. CdZnTe, CdTe

### 2.1 연구 동향

최근 반도체 방사선 검출기로 집중적으로 연구되고 있는 반도체 결정으로는 CdZnTe와 CdTe를 들 수 있다. 상온 반도체 검출기로서 CdTe에 대한 연구의 시작은 1960년대로 거슬러 올라간다. CdTe는 Cubic, Zincblende 결정 구조이며 결정을 구성하는 원소의 원자수는 각각 48과 52이다. CdTe 결정을 성장하기 위한 다양한 시도가 이루어졌다. 일반적으로 성장된 결정은 검출기에 적합한 크기로 자른 후 표면을 Lapping하고, Alumina를 이용한 Mechanical Polishing을 수행한다. 이후 Bromine/Methanol 용액을 이용하여 이전의 물리적 공정 과정에서 발생한 결정 표면의 Defect를 제거해 준다. 일반적으로 전극을 형성하는 방법은 AuCl<sub>3</sub>, AgNO<sub>3</sub>, PtCl<sub>4</sub> 등의 수용액을 이용한 무전해도금법이 사용되었다. 또한 반도체 결정과 금속간의 접합성을 향상시키기 위하여 Annealing 법이 적용되기도 한다. 일반적으로 CdTe 검출기는 방사선에 의하여 발생한 Hole의 낮은 수집 효율로 인하여 에너지 분해능이 떨어지는 단점이 지적되어 왔다. 이를 극복하고자 낮은 온도에서 방사선을 측정하는 방법이 이용하거나 전자에 의한 신호만으로 방사선을 검출하기 위하여 반구형 검출기가 제작되기도 하였다. 또한 펄스의 모양을 구분함으로써 에너지 분해능을 향상하는 방법이 도입되었다. 즉, 시간적으로 펄스의 모양이 긴 신호는 양전자에 의한 신호이며 짧은 신호는 전자에 의한 신호이므로 짧은 펄스만을 수집함으로써 에너지 분해능의 향상을 가져왔다. 그러나 이 방식은 CdTe 검출기의

방사선수집 효율을 떨어뜨리게 되는 단점을 가지고 있다.

최근 일본의 Acrorad社에서 THM(Travelling Heater Method) 결정 성장법을 이용하여 p-Type의 CdTe 결정을 성장하고 Schottky Diode를 제작하였다. 결정의 면저항은 10<sup>9</sup> Ωcm이며 한쪽면에 In을 증착하고 반대면에 Pt를 증착하여 다이오드를 형성하였으며 59.5 keV 감마선에 대하여 0.83 keV의 에너지 분해능을 보이고 있다.

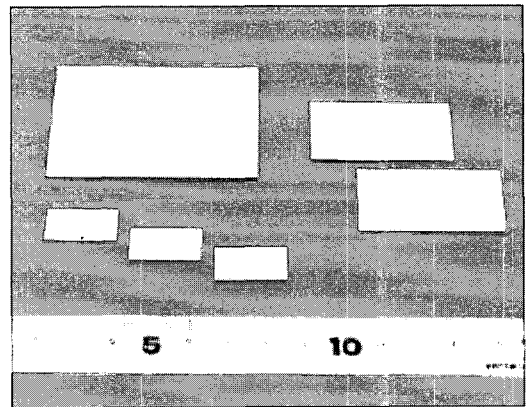


그림 1. Acrorad의 CdTe wafer.

Cd과 Te를 이용하여 결정을 성장시키는 도중에 Zn을 첨가할 경우 CdTe 보다 결정의 균일성은 떨어지지만 결정의 저항을 크게 하고 Charge Polarization에 의한 영향을 줄일 수 있다. 따라서 이렇게 성장한 CdZnTe는 CdTe보다 낮은 누설 전류를 보인다. 일반적으로 CdTe는 CdZnTe에 비하여 대면적 결정을 성장시키기 유리하다고 알려져 있으며 CdTe 결정의 가격이 CdZnTe에 비하여 낮은 가격으로 공급되고 있다. CdZnTe는 High Pressure Bridgman 방식으로 성장시키며 결정은 Cubic Zincblende 구조를 가지고 있으며 결정의 면저항은 10<sup>11</sup> Ωcm이다. CdZnTe의 방사선 검출기 제작 과정은 CdTe와 비슷하게 결정은 자른 후 Lapping, Polishing 과정을 거치고 Bromine/Methanol 용액을 이용하여 화학적 에칭을 한다. 이후 무전해 도금법

을 이용하여 금속 전극을 결정의 표면에 형성해 준다. 화학적 에칭의 종류에 따른 제작된 검출기의 성능 변화에 대한 많은 연구가 진행되어 왔으며 일반적으로 결정 표면의 Roughness가 작아질수록 검출기의 누설 전류가 줄어든다는 결과가 보고되고 있다.

CdZnTe 결정의 크기가 커질수록 결정 내에서 Hole 수집률이 떨어지며 이에 따라 에너지 스펙트럼에서 낮은 쪽으로 tail을 형성하는 경향을 보이게 된다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 여러 가지 시도들이 진행되었는데 가장 대표적인 방법으로는 검

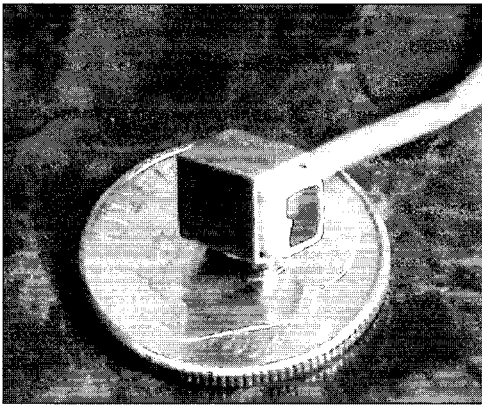


그림 2. Capacitive Frisch grid CdZnTe 검출기.

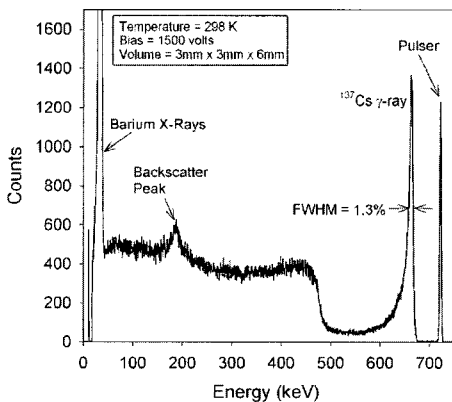


그림 3. Frisch grid CdZnTe 측정 에너지 스펙트럼.

출기에서 측정되는 시그널의 파형에 따른 구분을 통하여 에너지 분해능을 향상시키는 방법과 방사선에 의하여 만들어진 Hole과 전자 중 전자에 의한 신호만으로 에너지 스펙트럼을 얻는 Single-carrier-sensing 기법이 알려져 있다.

Single-carrier-sensing 기법은 가스 검출기에서 검출기 효율을 증대시키기 위해서 사용되던 Frisch Grid 방법을 상온 반도체 검출기에 P.N. Luke가 도입하였다. 가스 검출기 내에서 방사선에 의하여 이온과 전자가 만들어질 때 이온은 전자에 비하여 질량이 크기 때문에 전자에 비하여 수집 시간이 길고 수집 효율이 떨어지게 된다. 이를 해결하기 위하여 일반적으로 Frisch Grid 방법이 이용되고 있다. 즉 가스 검출기 내 Cathode와 수집 전극 사이에 Frisch Grid를 두어 Grid에 의한 Shielding에 의하여 Cathode와 Grid 사이의 신호는 수집 전극에 유도되지 않도록 한다. 따라서 수집 전극에 유도되는 신호는 오직 Grid와 수집 전극 사이에 존재하는 전자에 의한 빠른 신호만이다. 그러나 Frisch Grid는 검출기 내부에 위치하기 때문에 상온 반도체에서는 적용이 어렵다. Luke는 반도체 결정의 전극 표면에 Coplanar 전극을 두고 전자에 의한 신호만을 수집하여 에너지 분해능을 높이는 방법을 제안하였다. 그는 이 방법을 Cs-137의 660 keV 에너지 측정에 적용하였다. 이후 다양한 Coplanar 전극 구조에 대한 연구가 진행되었다. 이 경우 Anode 전극은 Strip 형태로 제작되고 Cathode 전극은 평판형 전극으로 제작된다. Anode의 Strip은 엇갈려서 각기 다른 전압을 인가하고 전극이 다른 두 Strip의 신호를 서로 개별적으로 처리한 후 신호의 차이를 비교하여 전자에 의한 신호만을 수집한다.

이 외에도 다양한 방법으로 에너지 분해능을 향상하기 위한 방법이 제안되었다. 최근 eV-Products에서는 Anode와 Cathode 전극의 모양을 비대칭적으로 제작하여 에너지 분해능 향상을 이루었다. 이 검출기는 반구형 검출기의 한 변형이라고 할 수 있는데, Cathode 전극을 검출기의 측면까지 늘려서 결정 내의 전기장의 모양을 변형하였다. 662 keV 감마

선에 대하여 13 keV 이하의 에너지 분해능이 보고되었다. Capacitive Frish Grid 구조의 CdZnTe 검출기에 대한 연구도 발표되었다. 이 검출기는 결정의 양쪽 면에 평판형 전극을 두고 측면을 금속판으로 싸게 된다. 이 때 결정의 측면과 금속판 사이에는 절연체를 두고 측면의 금속판은 Cathode와 연결되게 한다. 이러한 구조로 인하여 인가된 전기장은 변하지 않으나 결정 내의 하전 입자 이동은 달라지게 된다. 또한 이러한 설계를 통하여 Hole에 의한 에너지 Tail 형성을 줄일 수 있다. 앞으로 검출기 전극 구조 설계를 향상하여 662 keV 감마선에 대하여 1% 에너지 분해능이 기대되고 있다.

## 2.2 방사성 물질 검색 및 방사선 안전 분야

방사성 물질 검색 및 방사선 안전 분야에서 CdTe와 CdZnTe를 이용한 검출기가 사용되고 있다. 방사성 물질의 검색을 위하여 비파괴나 파괴 검사가 일반적으로 행해진다. 방사성 물질 검색을 위해서는 방사선 구역 내에서 검색이 수행되어야 하며 이 경우 이동형 방사선 검색 장치를 필요로 하게 된다. 또는 방사성 물질의 검색이 필요한 곳에 고정된 방사선 계측기가 필요하다.

방사성 물질을 검색하기 위해서는 일반적으로 감마선이나 중성자를 측정한다. 감마선 측정을 위해서 쓰이는 검출기로는 현재 NaI와 HPGe 검출기가 널리 쓰이고 있다. 이러한 검출기 제작 기술은 많은 연구가 진행되어 실용화가 이루어진 상태이다. 그러나 이러한 검출기가 모든 경우의 방사성 물질 검색에 가장 적합하지는 않다. HPGe 검출기는 에너지 분해능이 뛰어나지만 검출기로 사용하기 위해서는 질소 냉각 장치를 필요로 한다. NaI 검출기는 에너지 분해능이 높지 않아서 플루토늄 등의 물질을 검색하고자 할 경우 사용할 수 없다. 상용 반도체 방사선 계측기는 이러한 요구조건을 모두 만족시킬 수 있는 방사선 계측기이다. 따라서 IAEA(International Atomic Energy Agency)에서는 CdTe 나 CdZnTe 등을 이용한 방사선 검색기에 대한 연구에 지속적인 지원을 수행하고 있다.

방사선 방호용으로 주로 측정해야 하는 중요한

동위원소 중 하나는 우라늄이나 플루토늄이다. 이 동위원소에서 발생하는 감마선의 에너지 스펙트럼이 복잡하기 때문에 HPGe 등의 검출기 에너지 분해능이 높은 검출기를 필요로 하며 CdTe나 CdZnTe 등도 이러한 요구 조건에 부합하는 검출기이다. 또한 CdTe나 CdZnTe의 밀도가 높고 구성 원자수가 높기 때문에 원하는 검출 효율을 유지하면서 검출기의 소형화를 이룰 수 있다.

CdTe나 CdZnTe는 40°C이하의 온도에서는 동위원소 검색을 위해서는 비교적 안정적으로 동작한다고 알려져 있으며 그 이상의 온도에서 사용하기 위해서는 Peltier 등의 별도의 냉각 장치를 필요로 한다.

## 2.3 의료 방사선 영상 분야

1970년대부터 CT(Computed Tomography) 기술의 빠른 발전과 더불어 그 당시 급속하게 발전하고 있던 전자 공학과 컴퓨터 기술을 이용한 방사선 영상 분야에 대한 많은 연구가 진행되었다. 특히, 방사선 센서 기술, 대량 데이터 처리 기술, 고속 데이터 전송 기술, 전산 기술 등의 발전에 따라 고분해능 방사선 영상 장치에 대한 많은 연구가 진행되었다. 이러한 개발의 최종 목적은 환자에 대한 방사선 피폭을 최소화 하며 고화질의 영상을 얻고자 하는 것이다. DR(Digital Radiography) 기술은 기존의 필름을 이용한 방사선 영상 기술에 비하여 많은 장점을 가지고 있다. 즉, DR은 필름 기반 방사선 영상 기술에 비하여 Dynamic Range가 크고 영상의 처리 속도가 빠르며 영상 처리 및 보관이 간편하며 환자에 대한 방사선 피폭을 줄일 수 있다.

여러 가지 방사선 센서들이 DR을 위한 방사선 계측기로 시도되고 있다. 평판형 디지털 검출기들이 DR을 위해서 개발되고 있다. 이러한 평판형 영상 센서들은 크게 두 가지로 구분할 수 있는데, 직접적인 방식으로 방사선을 측정하는 센서와 간접적인 방식으로 방사선을 측정하는 센서이다. 간접적 방식의 방사선 센서는 입사하는 방사선을 광자(Photon)로 바꾸고 이를 다시 전기적 신호로 바꾸어 신호를 처리하는 센서이다. 광자를 전자 신호로 바꾸기 위하

여 PMT (Photo Multiplier Tube)나 a-Si:H PIN 다이오드가 쓰인다. 간접적 방식의 방사선 센서는 일반적으로 직접적 방식의 센서에 비하여 검출 효율이 떨어지고 방사선량이 작아질수록 영상 노이즈가 증가한다는 단점을 가지고 있다. 직접적 방식의 방사선 센서는 입사 방사선을 직접 전기적 신호로 바꾸는 방사선 센서로 대표적으로 CdZnTe, a-Se, 가스 검출기 등을 들 수 있다. 일반적으로 직접적 방식의 영상 센서들이 간접적 방식의 영상 센서에 비하여 위치 분해능이 뛰어나다고 알려져 있는데 이는 입사 방사선을 빛으로 전환하는 방식이 방사선 계측 과정에서 생략되기 때문이다. 직접적 방식의 센서 중 CdZnTe는 가스 검출기에 비하여 밀도가 높으므로 분해능이 크고 검출기의 부피를 줄일 수 있다는 장점이 있다. 또한 a-Si 등은 픽셀의 크기가 작아지면 Fill Factor가 줄어드는 단점을 보이나 CdZnTe는 Fill Factor의 변화가 적어서 Pixel Size를 임의적으로 줄일 수 있다는 장점을 지니고 있다. 현재 순도 높은 CdZnTe 결정의 가격이 비교적 높다는 문제점이 남아있지만 CdZnTe를 이용한 영상 센서에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 개발되고 있는 CdTe와 CdZnTe를 이용한 DR용 영상 센서들을 살펴보면 다음과 같다.

CdTe를 이용한 DR 영상 장치는 X-ray 튜브와 위치 민감형 CdTe 어레이로 이루어져 있다. 이 장치를 이용하여 환자의 가슴부 사진 영상을 얻었다. 일반적인 필름 기반의 X-선 영상 장치에 비하여 CdZnTe를 기반으로 한 DR 영상 장치는 심장과 다른 장기와 중첩된 폐의 영상이 선명하게 보인다는 점이다.

고회상도 Dental Radiography 장치가 CdZnTe를 이용하여 개발하였는데, 이 장비의 장점은 환자의 피폭량을 필름 기반의 방사선 영상 장치에 비하여 줄일 수 있다는 점이다. 현재 DR을 기반으로 한 Dental Radiography 장비는 시장에 출시된 상황이며, 64 × 64 픽셀의 100 micron pitch의 CdZnTe를 기반으로 한 Dental Radiography 장비가 제작되었다. 이 영상 장비의 위치 분해능은 기존의 CCD와 Optical Fiber를 이용한 장비보다 높다고 보고되고

있다.

의료 시설에 있는 유방암 영상 조형 장치는 앞으로 10년 내에 DR 장비로 교체가 기대되고 있다. CdZnTe를 이용할 경우 장점은 얇은 결정을 이용할 수 있으므로 인하여 위치 분해능을 크게 할 수 있다는 점이다.

골밀도 측정 장비 역시 CdZnTe 영상 계측기를 적용할 수 있는 장비이다.

핵의학은 방사능 물질을 인체에 투입하고 그 분포를 측정하는 분야이다. 핵의학은 인체 내 특정 질병의 진행을 진단할 수 있는 영상 장치로써 그 시장이 점차 커지고 있는 분야이다. 핵의학 장비의 개발 방향에 대한 요구는 지속적으로 바뀌고 있으며 새로운 방사성 진단 물질의 도입과 핵의학 진단 기술의 발전이 빠르게 진행되고 있다. 현재 핵의학 분야에서 시급히 개발되어야 할 분야중 하나는 방사선 계

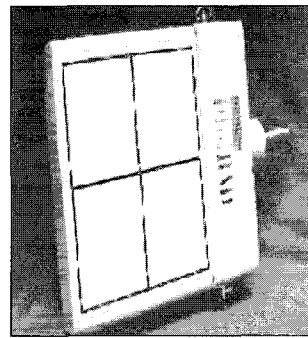
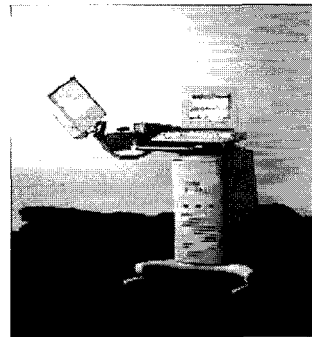


그림 4. Digirad사에서 제작한 CdZnTe이용한 SPECT.

측 분야이다.

대표적인 핵의학 장비로는 SPECT(Single Photon Emission Computed Tomography)와 PET(Positron Emission Tomography)을 들 수 있다. PET은 양전자 분열에 의하여 양방향으로 진행되는 511 keV 감마선을 동시에 측정하여 인체 내부의 영상을 얻는 장비이다. CdTe와 CdZnTe를 기반으로 한 방사선 영상 계측기를 이용하여 PET 장비 제작에 대한 연구가 진행되었으나 아직까지는 높은 에너지의 감마선을 측정할 수 있는 안정적 결정의 두께 등의 문제로 인하여 실용화에는 이르지 못하고 있다.

현재 쓰이고 있는 SPECT 장비는 NaI를 기반으로 한 방사선 계측 시스템을 바탕으로 하고 있다. 섬광체 후단에는 PMT를 부착하여 섬광체에서 방사선에 의하여 만들어지는 Photon을 전자로 바꾸어 준다. Collimator를 부착하며 약 3 mm 정도를 위치 분해능을 가진다. 에너지 분해능이 비교적 낮으므로 감마선의 산란에 의한 신호를 효과적으로 제거하지 못하는 단점을 가지고 있다. 상온 반도체를 이용할 경우 섬광체에 비하여 성능 향상을 이룰 것으로 기대가 되고 있다.

#### 2.4 우주 영상 분야

우주에서 오는 X-선이나 감마선 영상을 측정할 수 있는 방사선 영상 계측 장비로 CdTe와 CdZnTe는 많은 가능성을 포함하고 있다. 따라서 이러한 새로운 방사선 영상 계측기를 이용하여 Gamma-ray Burst, 블랙홀, 중성자별, Supernovae 등의 관측이 가능하리라 예상되고 있다. 현재 주로 NASA를 중심으로 우주선 영상 장비로써 CdTe와 CdZnTe를 이용한 방사선 영상 계측기가 개발되고 있다. 이러한 장비는 크게 3 가지로 구분할 수 있다. 첫 번째는 약  $\sim 5000 \text{ cm}^2$ 의 Mosaic 평판형 대면적 영상 검출기이다. 이 계측기는 Coded Aperture를 검출기 전단에 두어서 우주 감마선이나 X-선 위치를 관측하게 된다. 두 번째로 언급할 CdTe와 CdZnTe를 이용한 방사선 영상 장비는 새로이 개발된 Hard X-ray Focussing Optics를 이용한 영상 장비이다. 이 Pixel형 영상 검출기는 INFOC $\mu$ S 연구에 쓰일 계획이다.

세 번째 언급할 영상 검출기로는 2 MeV 까지 감마선을 측정할 수 있는 고감도 고에너지 분해능 3 차원 영상 검출기이다. 이 영상 장비를 이용하여 소형의 Compton Camera가 가능해지리라 예상되고 있다.

평판형 Mosaic 검출기의 시제품이 제작되었고 각 검출기 모듈은 ASIC 기판에 정착되었다.  $3 \text{ mm} \times 3 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ 의 CdTe 결정이 Printed circuit위에 장착되었고 각각의 검출기 결정은 silver paste를 이용하여 ASIC 칩의 Readout과 연결되었다. 반도체 결정의 위에는 얇은 금이 입혀진 Mylar 필름을 두었다.

NASA와 University Arizona 연구 그룹 간의 공동 연구로 우주선 X-ray telescope와 핵의학용 영상 장비로 쓰일 수 있는 방사선 영상 계측기에 대한 연구가 진행되었다. 미국의 eV product로부터 공급된  $26.9 \text{ mm} \times 26.9 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ 의 CdZnTe 결정과 일본의 ACROTEC으로부터 공급받은 1 mm 와 0.5 mm 두께의 CdTe 결정은 4096 Pixel 과 380  $\mu\text{m}$ 의 Pitch를 가진 검출기로 제작되었다. 가드 전극을 두어서 외부의 노이즈를 최소화하도록 하였으며 ASIC Readout과 검출기는 Indium Bonding을 이용하여 연결하도록 하였다.

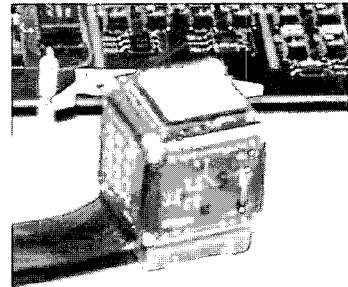


그림 5. INFOC $\mu$ S balloon mission을 위해 제작된 CdZnTe pixel형 검출기.

3차원 방사선 영상 계측기에 대한 연구는 미국의 University of Michigan, NASA, GSFC 간의 공동 연구로 진행되고 있다. 입사한 방사선이 반도체 결정 내에서 반향한 3차원적 위치를 파악할 수 있는 3차

원 방사선 영상 계측기는 검출기 안쪽에서 발생한 신호를 전체 신호에서 제거함으로써 에너지 분해능을 높일 수 있다. 3차원 영상 장치는 Compton Camera로도 개발될 수 있는 가능성을 가지고 있다.

### 3. 이 외의 상온 화합물 반도체

CdTe와 CdZnTe를 제외한 현재 활발히 연구되고 있는 방사선 계측기를 위한 상온 화합물 반도체로는 GaAs, HgI<sub>2</sub>, InP 등을 들 수 있다. GaAs 반도체 결정이 방사선 검출기로 연구된 것은 1960년대부터이며 이 반도체 검출기가 감마선에 대한 높은 에너지 분해능을 보인 최초의 검출기이다. GaAs 결정은 Cubic, Zinblende 구조를 가지고 있으며 감마선에 대한 반응은 Ge 검출기와 유사하다. GaAs 결정은 비교적 넓은 밴드갭과 Charge Carrier Mobility가 크기 때문에 방사선 계측기로 유용하게 사용될 수 있다. 또한 GaAs를 이용한 반도체 공정 기술을 비교적 성숙되었기 때문에 검출기 제작 공정을 진행하기에 매우 유리하다는 장점을 가지고 있다. GaAs 결정 중 검출기로 쓰이는 결정은 SI(Semi-insulating) 형태와 Epitaxial 형태가 있다. SI GaAs를 이용한 방사선 영상 센서는 아직 실용화에는 이르지 못하고 있는데 그 이유는 결정의 불균일성과 Charge Trapping에 기인한다. 여러 그룹에서 SI GaAs와 ASIC 결합한 형태의 방사선 영상 계측기에 대한 연구 결과를 발표하고 있다.

HgI<sub>2</sub> 검출기는 1970년대 이후 상온 반도체 방사선 계측기로 개발되었다. HgI<sub>2</sub> 결정은 결정 구성 원소의 원자수가 다른 상온 반도체에 비하여 높기 때문에 다른 상온 반도체 보다 얇은 두께의 결정을 이용하여 높은 에너지의 방사선을 측정할 수 있다. 즉, 140 keV 감마선에 대한 2 mm 두께의 HgI<sub>2</sub> 검출기는 CdTe나 CdZnTe의 경우는 4.2 mm, Ge이나 GaAs의 경우는 1.9 cm의 두께에 대응된다. HgI<sub>2</sub> 결정은 온도에 따라서 구조가 바뀌는데 130 °C 이하에서는 붉은색의 Tetragonal Lattice 구조를 가지고 130 °C 이상에서는 Orthorhobic 구조의 노란색 결정을 이룬다.

이 때 결정이 130 °C이상으로 가열되었다가 온도가 내려가게 되면 원래의 결정 구조로 돌아오지 못하고 결정 구조가 파괴됨으로 HgI<sub>2</sub>는 130 °C 이상의 높은 온도에서는 사용할 수 없다는 제한을 가지게 된다. 일반적인 검출기 제작 공정은 결정을 일정한 크기로 자른 후 KI 용액으로 에칭 한다. 이후 결정 표면의 금속 증착은 HgI<sub>2</sub> 결정이 대단히 무르기 때문에 상당히 제한된다. 일반적으로 많이 쓰이는 금속박막 형성 물질은 Aquadag이나 Pd가 쓰이고 있다. 일반적으로 HgI<sub>2</sub> 결정이 온도에 민감하기 때문에 열증착법을 이용할 경우 증착 시 발생하는 열에 의하여 결정 안으로 증착하는 금속이 침착하는 결과가 보고되고 있다.

### 4. 결론

1945년 최초로 상온 반도체를 방사선 계측에 이용하고자 하는 시도가 이루어진 이 후 상온 반도체 방사선 계측기에 대한 연구는 꾸준히 진행되어 왔다. 그간 Charge Carrier Trapping, Space Charge 등의 문제로 인하여 상온 반도체 방사선 계측기 발전은 상당히 더디게 진행되었지만 최근 급속하게 발전하고 있는 반도체 결정 성질의 향상, 시그널 처리 기술의 발전, 새로운 검출기 구조 디자인 등으로 인하여 현재 상온 반도체 방사선 계측기는 현재 실용화 단계에 이르렀다. 상온 반도체 방사선 계측기는 방사선 방호, 산업 제어, 의료 영상 등의 분야에서 그 쓰임이 날로 증가하고 있다. 앞으로 반도체 결정 크기의 대형화, 공급 가격의 하락 등을 통하여 상온 반도체 방사선 계측기의 사용이 더욱 확대시킬 수 있을 것으로 기대되고 있다.

### 참고 문헌

- [1] D.S. McGregor, H. Hermon, "Room-temperature compound semiconductor radiation detectors", Nucl. Instr. Meth. A 395, p. 101, 1997.
- [2] O. Limousin, "New trends in CdTe and CdZnTe detectors for X- and gamma-ray applications",

Nucl. Instr. Meth. A 504, p. 24, 2003.

- [3] C. Scheiber, G.C. Giakos, "Medical applications of CdTe and CdZnTe detectors", Nucl. Instr. Meth. A 458, p 12, 2001.
- [4] A. Owens, A. Peacock, "Compound semiconductor radiation detectors", Nucl. Instr. Meth. A 531, p. 18, 2004.
- [5] P.N. Luke, "Single-polarity charge sensing in ionization detectors using coplanar electrodes", Appl. Phys. Lett. 65, p. 2884, 1994.

### 저자약력



성명 : 박 세 환

◆ 학 력

- 1994년 고려대 물리학과 이학사
- 1996년 서울대 대학원 물리학과 이학석사
- 2002년 서울대 대학원 물리학과 이학박사

◆ 경 력

- 2002년 - 2003년 한국원자력 연구소 post doc.
- 2003년 - 현재 한국원자력 연구소 미래원자력기술개발단 선임연구원



성명 : 김 용 균

◆ 학 력

- 1985년 서울대 물리학과 이학사
- 1988년 서울대 대학원 물리학과 이학석사
- 1994년 서울대 대학원 물리학과 이학박사

◆ 경 력

- 1994년 - 1995년 한국원자력 연구소 post doc.
- 1995년 - 2003년 한국원자력 연구소 선임 연구원
- 2003년 - 현재 한국원자력 연구소 미래원자력기술개발단 책임연구원

