

이종접합을 이용한 방사선 영상 센서 개발

김영빈*, 윤민석**, 김민우*, 정숙희*, 김윤석**, 오경민**, 남상희**, 박지균***

인제대학교 의료영상 과학대학*, 인제대학교 의용공학과**, 한국국제대학교 방사선학과***

Development of Radiation Image Sensor using Heterojunction

Youngbin Kim*, Minseok Yun**, Minwoo Kim*, Sukhee Jung*, Yoonsuk Kim**, Kyungmin Oh**,

Sanghee Nam**, Jikoon Park***

Inje Univ. Medical Image Science, Inje Univ. Bionmedical engineering**, International Univ. of Korea. Radiological Science****

요약

본 연구에서는 적층 구조를 이용하여 누설전류를 저감 시키는 기술을 적용하여 PIB(Particle-In-Binder) 법을 이용한 방사선 영상 센서의 변환 물질을 개발하였다. 이는 디지털 방사선 영상 검출기의 두 가지 방식 중 하나인 직접방식에 사용되는 핵심 소자로 기존의 a-Se를 대체하여 더욱 효율이 높은 후보 물질들이 연구되어지는 가운데 태양전지와 반도체 분야에서 이미 많이 사용되어온 이종접합을 이용해 누설 전류를 저감 시키는데 그 목적이 있다. 본 연구에서 사용되는 PIB 제작 방법은 검출 물질 제작이 용이하고 높은 수율과 대면적의 검출기 제작에 적합하나 높은 누설 전류가 의료 영상에 있어서 문제가 되어 오고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 적층 구조를 이용하여 누설 전류를 저감시킨다면 PIB법을 이용하여 간편하게 향상된 효율의 디지털 방사선 검출기를 제작 할 수 있다고 사료 되어 진다. 본 연구에서는 누설 전류와 민감도에 대한 전기적 신호를 측정하여 제작된 적층 구조의 방사선 검출 물질의 특성 평가가 이루어 졌다.

Abstract

In this study, the basic research verifying possibility of applications as radiology image sensor in Digital Radiography was performed, the radiology image sensor was fabricated using double layer technique to decrease dark current. High efficiency material in substitution for a-Se have been studied as a direct method of imaging detector in Digital Radiography to decrease dark current by using Hetero junction already used as solar cell, semiconductor. Particle-In-Binder method is used to fabricate radiology image sensor because it has a lot of advantages such as fabrication convenient, high yield, suitability for large area sensor. But high leakage current is one of main problem in PIB method. To make up for the weak points, double layer technique is used, and it is considered that high efficient digital radiation sensor can be fabricated with easy and convenient process. In this study, electrical properties such as leakage current, sensitivity is measured to evaluate double layer radiation sensor material.

Key Word : 방사선 영상 센서, PIB method, 디지털 방사선 영상 검출기, 대면적, 누설전류, 민감도

I. 서론

1. 직접 방식의 방사선 검출기

Image receptor에서 X-선 흡수에 의해 전기적 신호를 발생시키는 물질을 이용하는 방식으로 이런 물질을 광도전체물질이라 하며 일반적으로 반도체라고 알려진 물질들이 이에 속한다. 이와 같이 Image receptor 내에서 X-선의 흡수에 의해서 야기되는 전자-정공쌍(electron-hole pairs:EHP)을 생성시키는 방식을 직접변환방식(direct conversion methode)이라 한다. 직접변환방식의 신호 특성은 간접변환방식에 비해 훨씬 더 파장이 짧은 신호 특성을 보인다. 즉 분해능이 좋으므로 간접변환방식에 비해서 우수한 해상도를 가진다. 직접변환용 receptor 물질로는 a-Se, CdTe, CdZnTe, PbI2, HgI2 등이 있으며, 아직까지 a-Se를 제외한 물질들은 높은 누설전류에 의해 신호대 잡음비(SNR)가 낮아 궁극적으로 좁은 Dynamic Range를 나타낼 수밖에 없으며, 대면적 증착의 난점을 지니고 있다. 또 동시에 발생한 전자·정공쌍의 효율적인 발생과 검출을 위해서 변환물질 내에 강한 전기장을 인가해 주어야 한다는 단점이 있다.^{[1][2][3]}

2. 광도전체 물질(Photoconductor)

영상신호의 전기적인 검출을 위해서는 x-선의 에너지를 전자·정공쌍의 전기적인 신호로 변환하는 물질이 필요하게 되는데 이를 광도전체 물질이라 한다. 일반적으로 반도체라고 알려진 물질들로서 실리콘(Si), 게르마늄(Ge), 브롬화탈륨(TlBr) 등이 있다. 빛이 없는 암 상태에서는 유전체이지만 빛이나 x-선이 조사되면 도체의 성질을 나타낸다. 빛이나 x-선이 조사되면 광자의 에너지에 의해서 전자가 전도대(Conduction band)까지 여기 되는데 만일 전기장이 인가되지 않은 경우 여기된 전자들은 다시 기저상태로 되돌아가서 가전자대(Valance band)를 이룬다. 하지만 전기장이 인가된 경우에는 전도대에 생성되어 있는 전하는 인가된 전기장의 방향을 따라서 이동되어 원천적인 영상정보로 검출된다. 이러한 광전물질의 특성은 적외선 검출기, 비디오 카메라, 그리고 복사기 등에 응용되고 있으며 그중에서 특별히 x-선과 반응하는 물질로 사용되기 위해서는 보다 더 많은 기능

적 요구조건들이 필요하다. 아래의 표1을 보면 이러한 x-선 변환물질의 기본 특성들을 나타내고 있다. 우선 원자번호가 높아서 x-선의 흡수율이 좋아야 한다. 이는 x-선에 대한 저지능이 우수하다는 의미로 검출기의 성능 뿐 아니라 환자의 피폭선량에도 많은 영향을 미친다. 또 광자효율이 높아서 조사된 x-선에 대해서 생성되어지는 전자·정공 쌍의 수가 많아야 한다. 이는 전자·정공 쌍을 생성하기 위한 에너지가 낮은 에너지에서도 많은 전자·정공 쌍을 발생시킬 수 있음을 의미한다. 즉, x-선의 변환효율이 우수하다는 의미이다. 아울러 전기적 저항이 커서 누설전류가 적어야하며, 생성된 전기신호를 효율적으로 검출하기 위해서는 전하의 이동성이 좋아야 한다. 또한 인체의 흉부촬영까지 가능하여야 하므로 14inch×17inch (36cm×43cm) 크기의 대면적 제작이 가능하여야 한다. x-선 변환물질로서는 Si, Ge 등과 함께 a-Se, PbI2, PbO, HgI2, CdZnTe 등이 일반적으로 사용되고 있다.

표1. x-선 광도전체의 물리적 특성

광도전체	atomic number (Z)	d (g/cm3)	Eg (eV)	W (eV)	ρ (Ωcm)
stabilized a-Se	34	4.3	2.22	45a, 20b	10 ¹³ -10 ¹⁴
HgI2.(SP)	80,53	6.3	2.1	5	-4×10 ¹²
HgI2.(PVD)	80,53	6.3	2.1	4.1	10 ¹¹ -10 ¹²
CdZnTe	48,30,52	5.8	1.7	5	~10 ¹¹
PbI2	82,53	6	2.3	5	10 ¹¹ -10 ¹²
PbO	82,8	9.6	1.9	8-20	7-10×10 ¹²
TlBr	81,35	7.5	2.7	6.5	~5×10 ⁹
GaAs	31,33	5.31	1.42	6.3	10 ⁷
GaSe	31,34	4.6	2	6.3	
ZnTe	30,52	6.34	2.26	7	
CdS	48,16	4.82	2.3	7.2	
CdSe	48,34	5.81	1.8	5	
CdZnSe	48,30,43		1.7-2.7		~10 ⁸
CdTe	48,52		1.5	4.4	10 ⁹ -10 ¹⁰

3. 이종접합을 통한 누설전류 저감

3.1 PIN 구조와 이종접합 구조

PIN 구조는 PN 접합을 이루고 있는 구조에서 순방향으로 전압을 인가하면 PN 경계면에 전자-정공쌍이 형성된다. 이 경우에 전자와 정공이 PN 경계면에만 국한되

지 않고 일부 전자가 P형 반도체로 확산되면서 P형 반도체 내부로 들어가며 마찬가지로 일부 정공이 N형 반도체로 확산되어 N형 반도체 내부로 들어간다. 이런 문제를 해결하기 위하여 P형과 N형과의 접합부분 즉, 계면에 공핍층 에너지가 작은 물질에 아무런 acceptor 나 donor를 첨가하지 않아 P형도 아니고 N형도 아닌 중성 (intrinsic)반도체를 삽입한 구조이다. 반면에 이종접합 구조는 PIN 구조와 비슷한 구조이지만 4족 원소를 주로 사용하여 3가의 원소와 5가의 원소를 주입하여 만들어진 PIN 구조에 반해, 에너지 준위가 각각 다른 물질을 접합하여 만들어진 구조이다. 에너지 준위에서 다른 2개의 물질을 접촉시킨 것 갈륨비소 GaAs 소자와 게르마늄 Ge 과 같은 2개의 다른 반도체 간의 접합 반도체와 금속 간의 접합 등은 헤테로 접합의 예이다. 본 논문에서는 HgI2를 BiI3, HgTe, HgO를 접합 하였다. 헤테로 접합이 가진 고유의 성질을 발휘하려면 2개 물질 간의 결정 구조나 열팽창 계수 등이 아주 비슷해야 하는데, 그렇지 않은 경우 접합부에 여러 가지 계면 준위(interface state)가 형성되어 접합 고유의 성질을 잃게 된다.^{[14],[16],[17]}

3.2 누설전류

누설전류의 측정을 위해서는 적절한 전극의 형성이 매우 중요하다. 상단전극(top electrode)과 하단전극(bottom electrode)의 종류와 각 계면에 전하의 유입을 막는 차단막의 종류에 따른 실질적인 성능 등이 조사 되어져야 한다. 앞에서 설명한 바와 같이 일반적으로 반도체 이론에서는 반도체 층위에 직접 금속 전극을 증착할 경우 Schottky 장벽을 이루어 동작하는 것으로 알려져 있다. 이러한 금속-반도체층에서의 전하의 흐름은 공간 전하 층에서 금속까지의 전하 이동에 지배를 받는데 대부분의 Schottky 장벽 다이오드에서는 전자가 금속에서 반도체를 확산하고, 반도체에서는 금속으로 방출된다. 상온에서는 확산이 방출보다 빠르므로 전류전송이 방출에 의해서 제한을 받게 된다. 전자들이 금속으로 방출될 때 이들은 금속의 자유전자보다 높은 에너지를 갖고 있으며 아주 짧은 시간에 금속의 전자와 평형을 이루게 된다.

금속과 반도체의 접합에 있어서 전하의 이동을 자유롭게 하기 위해서는 저항성 접촉(ohmic contact)이 이루어져야 한다. 저항성 접촉은 기판에 대해서 기생 임피던

스를 유기시키지 않으므로 소자특성에 영향을 주는 반도체내의 평형 carrier 농도를 변화시키지 않은 접합을 말하며, 금속의 일함수 ϕ_m 가 반도체의 일함수 ϕ_s , 보다 반드시 작아야한다. 높은 일함수를 가지기 때문에 적은 일함수를 가지는 거의 모든 금속이 저항성 접촉을 형성하여 금속전극으로부터의 전하유입을 최소화하는 전위 막을 형성하게 된다. a-Se 기반의 직접 변환 방식의 방사선 검출기에 대해 Polischuk 의 연구결과를 보면 금속의 종류와 누설전류(dark current)의 크기에는 크게 연관성이 없는 것을 알 수 있다. 오히려 그 계면에 형성될 수 있는 화합물이나 결정화 상태에 더 영향을 받는 것으로 보고 되고 있다.

1) 쇼트키 접합(Schottky contact)

금속은 energy band gap(Eg)가 존재하지 않는다. 대신에 금속에는 금속의 fermi level에서 vacuum level 까지 전자를 이탈시키는데 필요한 에너지인 일함수, work function(ϕ_M)이라는 값이 존재하며, 금속과 접합된 반도체에도 이 개념을 적용하여 해석해야 한다.

만일, 금속에 음전하가 접근하면 금속표면에는 positive charge 가 유도되며 이것은 금속 접합부위에서 effective work function을 줄이게 되는데 이러한 현상을 schottky effect라고 하며, schottky effect에 의해 변형된 전위 장벽이 외부 바이어스에 의해 변화하면서 P-N 접합형 다이오드의 역할을 하게 된다.

2) 옴릭 접합(Ohmic contact)

현재 대부분의 반도체 device들은 내부 element의 전기적 연결에 metal을 사용하고 있다. 그런데 이들 금속 배선과 반도체 사이에 rectifying effect가 일어난다면, power 나 signal의 전송이 한 방향으로만 이루어지는 문제 외에도 여러 가지 문제가 발생한다. 따라서 이 부분에 적당한 조작을 가하여 이러한 정류작용을 forward-reverse 양 방향의 전압 변화에 대해 선형적인 응답이 가능하도록 하고 있는데, 이런 식으로 조작된 선형의 저 resistance contact을 ohmic contact 이라고 한다. 이론적으로 metal-semiconductor 간의 ohmic contact은 metal에서 semiconductor로 majority carrier의 공급에 의해 fermi level 을 제 정렬하여 이루어진다. 즉, n type일 경우 $\phi_m < \phi_s$ 의

조건을 만족하며 p type일 경우 $\phi_m > \phi_s$ 의 형태가 된다. 이 경우 potential barrier가 사라지게 되어 양방향의 charge flow에 지장이 없어 양방향으로의 거의 동일한 I-V 특성을 보인다.

II. 연구 재료 및 방법

1. 시편 제작 공정

1.1 낮은 누설전류 센서 제작

본 연구에서는 광도전체 물질에 누설전류를 낮추는 방법으로 두 가지 기술이 사용 되었다. 먼저 이중접합을 통한 적층구조로 공핍층을 넓히고 페르미 준위를 변화시키는 방법과 고분자 유전체를 코팅하여 물질 표면에 유전막을 형성하는 방법이다. 이 실험에 있어서 적층 구조시 계면의 결합과 각 물질에 대한 열팽창 계수가 고려 되어 제작 되어져야 한다. 적정 동작 온도 범위에서 안정적인 검출기 성능 구현을 위해 열팽창 계수의 오차가 크지 않아야 하고 두 물질의 구조도 역시 유사할수록 신호 전달 특성과 유지에 대한 안전성이 보장된다. 광도전체물질은 결정격자상수에 대해 신호전달 특성이 크게 영향이 미치므로 HgI₂와 BiI₃, HgTe, HgO를 적층 구조로 제작하였다. 각각의 물질은 Hexagonal BCC/FCC 구조로 상호간에 신호 전달 효율을 극대화 할 수 있는 물질을 적층하였다. 이때 역시 각 물질의 필름은 PIB 방법으로 제작 하였으며, 요오드화수은(HgI₂)과 요오드화납(PbI₂)의 신호량에 크게 영향을 미치지 않게 하기 위해 200 μm 이하로 제작이 되었다. 그 다음에 필름 전체를 유전막(Dielectric layer)으로 코팅하기 위해 페를린(parylene)이 사용되었다. 비슷한 물질로 폴리에틸렌(polyethylen), 스티렌(styrene) 등이 있으나 페를린(parylene)이 친환경적이고 인체에 무해하면서도 좋은 특성을 나타내기 때문에 이 실험에서 사용되었다. 페를린(parylene)은 C, N, D의 3가지 종류가 있으며, N 형태가 높은 절연율과 강도, 안전성을 갖고 있으며 비저항이 1015-1016 Ω·cm 정도로 본 연구에 있어 가장 적합하다고 생각되어 사용되었고, 열증착방식(thermal evaporating system)을 통해 수 μm 정도로 코팅되었다.

1.2 시편의 제작

본 연구에서 사용된 기판(substrate, corning glass, 0.7t)은 ITO glass이고, 광전도체 물질 코팅을 위해 이 물질 제거가 이루어 졌다. 제거 과정은 aqua regia(왕수: 진한 질산과 염산 혼합물의 통칭)로 12시간 정도 세척 한 뒤, 초음파 세척기로 3-4시간 세척 후 마지막으로 증류수를 흘려 glass 를 행구었다. 이렇게 기판을 세척 한 뒤 5cm×2cm/8inch×10inch의 크기로 절단 후 요오드화수은(HgI₂)과 요오드화납(PbI₂)을 앞에서 설명한 PIB 법을 이용하여 200μm-250μm 박막을 제작하였다. 시편 제조를 위해 요오드화수은(HgI₂)과 요오드화납(PbI₂) powder(99.999%, 고순도社, Japan)를 폴리머 물질에 교반하여 금속-폴리머(Polyvinylbutral, across) 결합을 가진 페이스트를 제조 한 뒤 300μm 정도의 마스크가 부착된 기판위에 코팅한 후 상온에서 2시간 건조 후 40-60℃에서 6시간 정도 건조를 통해 1차 단일층(Single layer) 시편을 제작하였다. Fig. 1는 이러한 과정을 도식화 한 것 있다. 건조가 완료 된 후 100μm의 마스크를 이용해 두 번째 층(layer)인 BiI₃와 HgTe, HgO를 코팅하여 약 50μm-100μm 정도의 층을 제작하여 적층구조(Double layer)를 형성하였다. 앞서 언급된 방식과 동일하게 건조 시키지만 물질 특성에 따라 건조 시간은 조금씩 다르다. 제작된 시편은 2cm×2cm와 7inch×8.5inch 크기로 두 가지 종류의 시편이 제작 되었고, 450μm에서 500μm의 두께를 가지며 1015-1016Ω·cm의 비저항을 가진 유전체를 열증착법(Thermal evaporating system)을 통해 증착 하였다. 샘플시편의 최상단에는 ITO 전극을 스퍼터링법(Sputtering method)을 이용하여 증착 하였다. 최종적으로 제작 된 시편의 모식도가 Fig. 2이다.

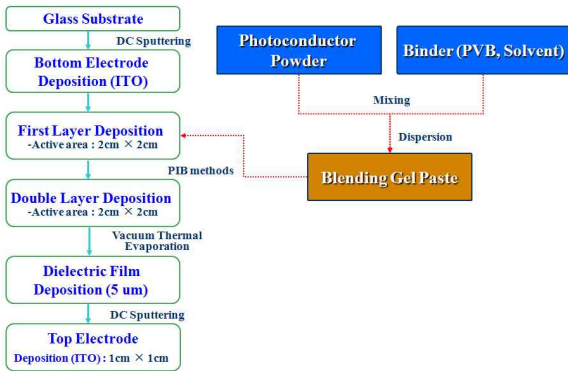
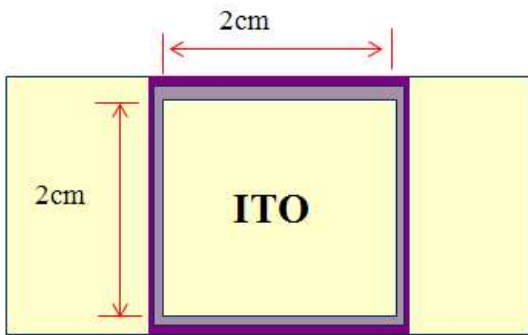
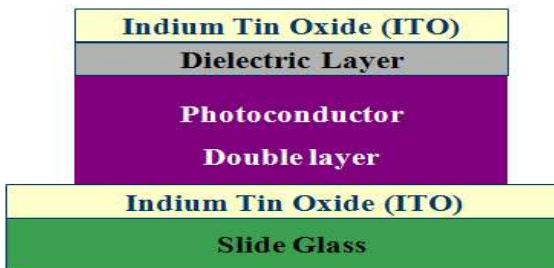


Fig. 1. Fabrication process of photoconductor film with particle-in-binder method



(a)



(b)

Fig. 2. (a) Film size (b) Film cross structure of particle in binder method detector

2. 시편의 측정

2.1 시료 및 시편의 구조적 특성 측정

PIB법으로 시편 제작 시에는 시료 및 시편의 성능 측

정이 매우 중요하다. 시료의 상태에 따라 제작되는 박막의 상태가 달라지며 이로 인해 시편의 물리적, 전기적 특성에 많은 영향을 미치기 때문이다.^{[3],[4]} 따라서 본 연구에서는 시료 및 제작된 시편의 구조적 특성을 측정하기 위하여 Surface uniformity measurement, 주사전자현미경(SEM), X-선 회절법(XRD) 3가지 계측이 이루어 졌다.

먼저, 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 시료의 상태, 적층 구조 부분 형태 및 제작된 박막의 단면 상태를 확인하였다. 다음으로, 제작된 필름의 결정 상태와 정성 분석을 위해 X-선 회절법(XRD)을 이용하였다. XRD 실험의 가장 큰 특징은 시료에 대한 제한이 적고 비파괴 측정이 가능하다는 것이다. 물질은 결정구조와 화학형태가 다르면 회절패턴의 형태가 변화하게 되므로 표준 물질의 데이터 파일과 대조해서 구별할 수 있다. 이 실험을 통해서 격자 상수를 알 수 있고, 결정 구조를 파악하며, 미소 결정의 크기를 구할 수 있다. 또한, 결정의 배향성을 조사 하고 내부의 결정 상태 변형을 확인할 수 있다. 시편의 누설전류(Dark current)에 많은 영향을 끼치는 표면 균일성은 대 면적 시편에 대해서 coating thickness gauge(elcometer instruments Ltd, 456electrometer)를 이용해서 측정하였다. 기존 문헌에 언급된 방법과 같이 기준점에 대하여 일정 간격으로 두께를 측정하여 평균값과 편차가 확인되었다.

2.2 누설전류의 측정

입사되는 방사선에 의해 실제 발생하는 전기적 신호량의 크기는 매우 작으므로 (일반적으로 pC 정도의 전하량) 방사선 검출기의 제작에 있어 정확한 누설전류(Dark current)의 측정을 통한 검출기의 낮은 누설전류(Dark current)의 제어는 반드시 필요하다. 특히 열잡음(Thermal noise)이 문제시되는 반도체 검출기의 경우 특히 누설전류(Dark current)에 대한 제어는 필수적인 항목이라 할 수 있다. 반도체 검출기 자체가 가지는 누설전류(Dark current)의 영향으로 신호대잡음비(SNR)의 감소를 초래하므로 반드시 누설전류(Dark current)에 대한 정확한 측정이 이루어지고 적절한 제어가 필요하다. 암 상태에서의 X-선 변환물질에 대한 전기장의 인가는 광도전체물질(Photoconductor)층 내부의 전자·정공쌍의 흐름에 있어 중요한 의미를 가진다. 또한 전기장에 대한 누설전류(Dark current)의 발생은 실 발생 전기량 측정에

서의 불필요한 신호이므로 이를 제어하는 것은 중요한 과제라 할 수 있다.

본 연구에서는 PIB 법으로 제작된 시편 위에 버퍼층(Buffer layer)을 삽입하고 누설전류(Dark current)의 저감 확인을 위해 인가전압은 전압발생기(EG&G 558H, USA)를 이용하여 측정 하였고 이때 발생하는 누설전류(Dark current)를 동일한 조건하에서 측정하기 위하여 전압 인가 후 1분 후 전류측정기(Keithley 6517, USA)를 이용하여 측정하였다. Fig. 3은 이러한 누설 전류(Dark current) 측정의 개요도를 나타내고 있다.

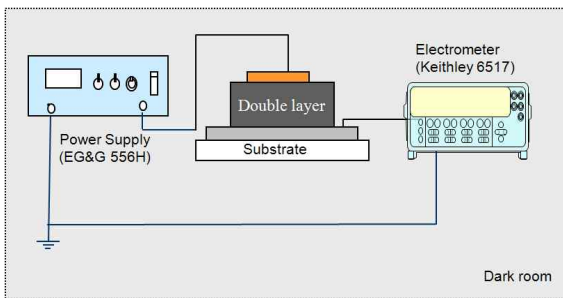


Fig. 3. Block Diagram of dark current measurement about double layer detector fabricated with particle-in-binder method

2.3 X-선 광전류의 측정

X-선 변환물질의 SNR은 누설전류(Dark current) 대 광전류(Photocurrent)의 비로써 표현할 수 있다. 광전류(Photocurrent)의 측정 구성은 기본적으로 누설전류(Dark current)의 측정과 비슷한 구조를 가진다. 측정 조건은 RQA5 조건에 따라 70kVp, 21mm Al 부가 필터를 이용하여 광전류(Photocurrent)를 측정하였다. 측정에 앞서 X-선 광전류(Photocurrent) 평가의 원활한 계산을 위하여 시편 표면에 조사되는 선량을 1mR/cm²으로 고정하였으며, 이를 위해 알루미늄 필터가 사용되었다.

본 연구에서 사용된 방사선량 검출기는 Ion chamber 2060(radical cooperation 社)으로 정교한 제품을 이용하여 검출기 표면에 도달하는 선량을 1mR/cm²으로 정확히 제어하였다. 또한 제작된 시편에 적절한 X-선을 노출시키기 위해 콜리메이터를 이용하여 조사야를 제어하였다. 주위 X-선 측정을 위한 여러 계측장비의 오동작을 막기 위하여 납으로써 계측기기를 차폐하였다. 제작된 시편

의 측정은 전극 양단에 전압을 인가한 후, X-선을 조사한 다음 광도전체에서 생성된 광전류(Photocurrent)는 일정한 저항의 전위차로써 획득된다. 획득은 다음 수식 1을 통해 간단히 설명된다.

$$\Delta Q = \frac{\int_0^T V dt}{R} \quad \text{수식 1)}$$

T : X-선이 조사된 시간

오실로스코프를 통해 획득된 전압의 파형을 matlab으로 저장하여 ACQ 프로그램을 통해 적분된 값을 획득하여 사용된 저항 성분으로 나눠주면 광전류는 쉽게 구할 수 있다. Fig. 4은 광전류(Photocurrent) 측정방법 모식도를 간단하게 나타내었다.

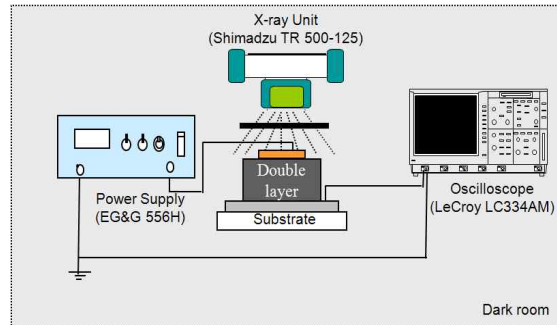


Fig. 4. Block Diagram of photocurrent measurement about double layer detector fabricated with particle-in-binder method

III. 결과

1. 물리적 특성

1.1 표면 균일도와 다공성

반도체 특성에 있어서 표면의 상태는 누설전류(Dark current)에 가장 큰 영향을 미친다. 본 연구에서는 PIB 방법으로 제작된 시편에서 Fig. 5에서와 같이 7inch × 8.5inch 사이즈의 대면적 시편을 가지고 표면 균일도가

측정되었다. 평균 두께 400 μ m-500 μ m 에서 $\pm 5\%$ 내외에서 표면 균일도(Surface uniformity)가 측정이 되었다. 또한, 제작된 시편의 다공성(Porosity) 또한 중요한 요소로 작용한다. 물질 자체의 밀도로 인한 검출 효율 변화와 같이 다결정 성장에서 다공성을 최소한으로 줄여야 단위 부피 안에 많은 광도전체물질을 채울 수 있다. 다공성에 대한 측정은 제작된 시편에서 여러 부분의 단면을 샘플링 해서 각 단면의 빈 공간을 측정해서 전체 면적에 대한 비로써 다공성을 측정하였다. Fig. 6의 시편 단면 영상에서 볼 수 있다시피 상당히 조밀함을 알 수 있고, <20% 정도로 상당히 조밀하게 제작되었음을 볼 수 있다. 이는 선행 연구에서 증명 한 PIB 방법의 장점중 하나로 용매를 건조 시키면서 증력을 이용한 침전법을 이용하므로 다공성(Porosity)을 줄일 수 있다.

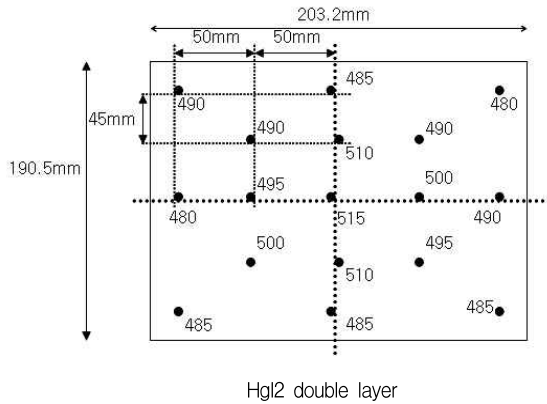


Fig. 5. Measurement results of surface uniformity measurement with coating thickness gauge

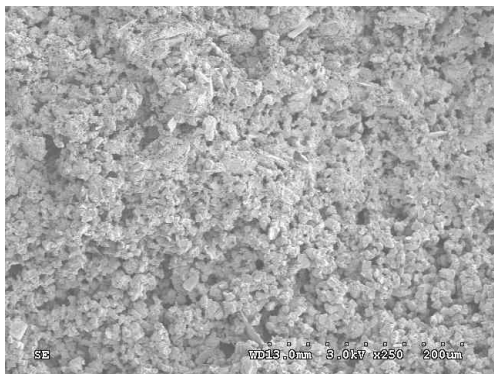


Fig. 6. Laminate plane image of HgI2 double layer

1.2 구조적 특징

진공증착법과는 달리 PIB 법으로 시편을 제작할 때는 시료의 조건이 매우 중요하다. 이는 시료의 grain size가 박막의 표면 상태 등을 포함하는 물리적 성질 및 전기적 성질 등에 큰 영향을 미치기 때문이다. 따라서 본 연구에 앞서 시료의 상태를 관측하기 위해 주사 전자현미경(SEM)으로 촬영하였다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 다결정 입자는 5 μ m의 grain size에 직사각형 모양으로 침전시 조밀하게 쌓기 좋은 형태이다. 기존의 쉬버저서의 문헌에서 언급되었다 시피 알갱이의 형태와 크기에 따라 필름 제작의 특성에 큰 변화를 보이고 증진율에 영향을 주므로 전기적 특성에 크게 영향을 미침을 알 수 있다. 또한 SEM 영상을 통해 단면과 적층면의 상태를 확인하였고 각층간의 상호 관계에 따라 반도체 특성에 많은 영향이 미침을 확인 하였다. 결론적으로, 적층 면이 구별되지 않을 정도로 물질이 잘 도포된 것으로 확인 된다. 먼저 Fig. 7에서 두 물질은 같은 메탈 할로겐족의 BCC 구조로 서로 간의 상태가 거의 같으므로 거의 두층이 흡사한 형태를 나타낸다. 그림에서 확인할 수 있듯이 매우 조밀하게 결정이 성장된 것이 확인되고 기존 문헌의 PVD 방식으로 제작된 HgI2 필름과 비교 하여도 훨씬 조밀하고 높은 증진율의 필름이 제작되었음을 확인할 수 있다.

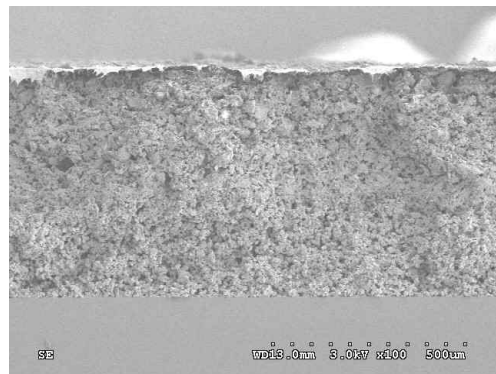


Fig. 7. Cross section image of HgI2 double layer

다음으로, 제작된 필름의 결정 상태와 정성분석을 위해 X-선 회절법(XRD)을 이용하였다. XRD 실험의 특징은 시료에 대한 제한이 적고 비파괴 측정이 가능하다는 것이다. 물질은 결정구조와 화학형태가 다르면 회절패

턴의 형태가 변화하게 되므로 표준물질의 데이터 파일과 대조해서 구별할 수 있다. 이 실험을 통해서 격자 상수를 알 수 있고, 결정 구조를 파악하며, 미소 결정의 크기를 구할 수 있다. 또한, 결정의 배향성을 조사하고 내부의 결정 상태 변형을 확인 할 수 있다. Fig 8.에서 볼 수 있듯이 각 구간의 피크 값의 정도가 상당히 높음을 알 수 있다. 각 포인트에 대한 피크 값이 뚜렷하게 나타났고, 기존 문헌의 각각의 물질들의 결과 값과 비교하여 정확히 일치함을 알 수 있다. 또한 피크의 폭이 상당히 좁고 방향성이 일정하게 잘 성장되었음을 알 수 있다. 본 연구에서는 기존의 문헌에서와 같이 Hexagonal BCC/FCC 구조의 Metal halide에서 결정 성장의 방향성에 따라 반도체 특성의 향상을 증감 할 수 있고, 실제 시편을 측정하여 평가 할 수 있었다. 위에서 언급된 각각의 측정을 통해 적층된 구조의 시편에서 매우 향상된 충진율로 제작된 필름의 구조를 확인하였고 다결정 필름의 격자상수와 미소 결정의 크기가 확인 되었으며 적층구조에 따른 페르미 레벨을 낮추어 누설 전류를 줄임에 있어 공핍층 변화를 확인 하였다.

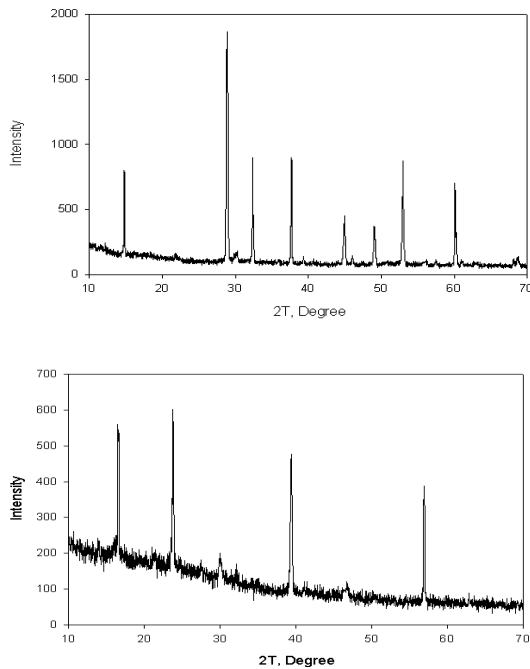


Fig. 8. XRD results of double layer detector fabricated with particle-in-binder method

2. 전기적 특성 결과

디지털 X-선 검출기의 누설전류(Dark current)는 영상 구성에서 중요한 요소로 작용된다. 최소한의 누설전류(Dark current)는 노이즈 감소와 높은 SNR 을 가지게 하며 일반적으로 의료 영상 분야에서는 동작전압(Operating voltage)에서 1nA/cm²를 적정 수준으로 정의한다.

모든 시편의 누설전류(Dark current)는 0.2-2.0V/ μ m 범위의 인가전압에서 안정화 된 상태 이후에 측정되었다. Fig. 9는 제작된 검출기의 동작전압에서 측정된 누설전류(Dark current) 결과 값이다. 인가전압에 따른 non-ohmic, super-linear fashion으로 인해 누설전류(Dark current)가 상승되었음이 확인 되었다. 본 논문에서는 두 종류의 시편에 대해서 1V/ μ m이하에서 10pA/cm² 이하로 앞서 언급 된 기준 값의 범위 안에서 측정되었다. 획득 된 누설전류(Dark current)는 PVD 방법으로 제작된 검출기에 비해 상당히 낮은 수치로 기존 문헌들과 비교 했을 때 PIB 방법으로 제작된 광도전체에 대해서 누설전류 특성이 상당히 향상되었음을 보여준다.

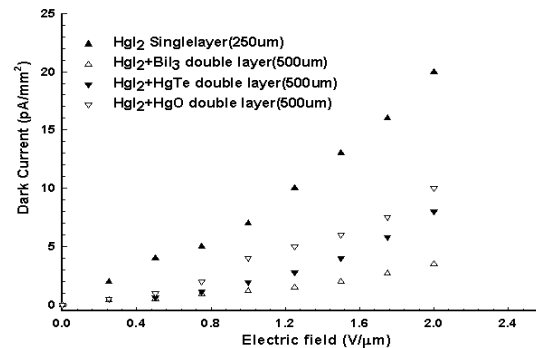


Fig. 9. Hgl2 적층구조의 누설전류

X-선 광전류(Photocurrent) 측정은 검출기에 입사된 X-선의 단위 노출과 면적에 수집된 전류량으로 정의 내려진다. 영상 시스템의 민감도는 Quantum efficiency, Primary conversion efficiency, Optical quanta and Electric charge 에 의존 된다. Fig. 10은 X-선에 대한 민감도를 나타내었다. 선행 연구보고에 의하면 Mt(the electron mobility lifetime product)는 PIB 방법으로 제조된 검출기

가 PVD 방법으로 제조된 검출기보다 낮다고 보고되어진다. 이것은 PIB 방법 사용 시 바인더 페이스트에 포함된 폴리머 물질의 높은 유전상수(5-6)로 인한 신호제한 효과 때문이다. 적층구조(Double layer)에 있어 누설전류(Dark current) 저감 시 민감도(Sensitivity)가 상당히 많이 떨어지는 특성이 있는데 본 연구에서는 이러한 효과를 최소화 하고자 폴리머 비율의 최적화에 큰 비중을 두었다. 각각 물질의 X-선에 대해 수집된 신호량은 15, 2.5nC/mR/cm² 으로 최근 보고 되는 값에 비교 하여 상당히 좋은 값을 알 수 있다.

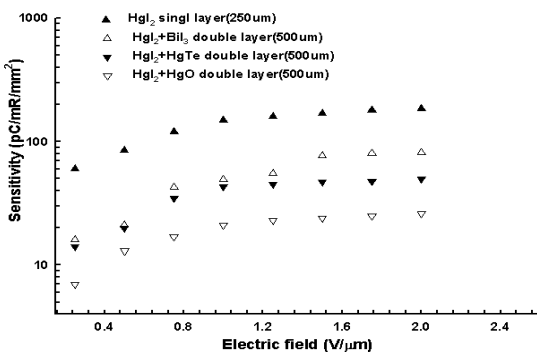


Fig. 10. HgI₂ 적층구조의 민감도

동영상 구현을 위해서는 Signal lag 특성이 큰 영향을 미치는데 앞서 언급 된 바와 같이 적층구조(Double layer)에서는 층 사이의 charge-trapping 과 신호 전달 효율 감소로 인해서 상당히 떨어짐을 알 수 있다. 또한 PIB 방식 자체의 바인더 물질이 고분자 이므로 필름제작 시 유전체 역할을 하게 되고, 선행 연구를 통해 바인더 양에 따라 신호량과 누설전류의 변화를 확인 하였으므로 그 결과를 충분히 예상 할 수 있다. 또한, 전극 제작에서 제작 과정과 와이어링 시 발생하는 문제 또한 영향을 미친다. 열팽창에 따른 미세 크랙이 반도체 성능에 많은 영향을 미침을 고려 할 때 이 부분은 차후 더욱 연구 되어져야 한다.

IV. 감사의 글

본 연구는 지식경제부와 한국산업기술재단의 전략기술인력양성사업으로 수행된 연구결과임

참 고 문 헌

- [1] 남상희, 윤정기 : 디지털 X선 detector 설계를 위한 비정질 실리콘 박막 트랜지스터의 특성해석. 대한의용생체공학회지, 1998, vol 20/1, p228-229
- [2] 남상희, 박성광, 최준영 등 : 비접촉식 Probe를 이용한 Digital Image의 구현, 대한의용생체 공학회지, 1998, vol 1, p224-225
- [3] Safa O. Kasap, John A. Rowlands : Direct conversion flat panel X-ray image sensors for digital radiography, IEEE, 2002, vol 90, p591-604
- [4] Barski LL, Wang X, Wandtke J, et al : Comparison of a-Se direct-conversion and CsI(Tl) indirect-conversion flat-panel digital detectors: a clinical assessment of image quality for general radiography applications, Proc. of SPIE, 2006, vol 6142
- [5] Denny L. Lee Lawrence K. Chung, Brian Rodricks, Gregory Fpowell : Improved imaging performance of a 14×17-inch direct radiography system using Se/TFT detector, SPIE Medical Imaging. 1998, Vol. 3336, p14-23
- [6] L. S. Jeromin, D. Lee : Application of a-Si active-matrix technology in a X-ray detector panel, Sid 97 Digest, 1997, vol 91
- [7] Denny L. Lee Lawrence K. Chung, Lothar S. Jeromin : A new digital detector for projection radiography, SPIE, 1995