

Development of Packaging Technology for CdTe Multi-Energy X-ray Image Sensor

Youngman Kwon*, Youngjo Km**, Cheolwoo Ryu*, Hyunhwa Son*, Byoungwook Kim*, YoungJu Kim*,
ByoungJung Choi*, YoungChoon Lee*

Radiation Imaging Technology Center of Jeonbuk TECHNOPARK, Luxen Technologies, Inc.**

CdTe 멀티에너지 엑스선 영상센서 패키징 기술 개발

권영만*, 김영조**, 유철우*, 손현화*, 김병욱*, 김영주*, 최병정*, 이영춘*

전북테크노파크 방사선영상기술센터*, ㈜ 룩센테크놀러지**

Abstract

The process of flip-chip bump bonding, Au wire bonding and encapsulation were successfully developed and modularized. The CdTe sensor and ROIC were optimally jointed together at 150 °C and 270 °C respectively under 24.5 N for 30s. To make SnAg bump on ROIC easy to be bonded, the higher bonding temperature was established than CdTe sensor's. In addition, the bonding pressure was lowered minimally because CdTe Sensor is easier to break than Si Sensor. CdTe multi-energy sensor module observed were no electrical failures in the joints using developed flip chip bump bonding and Au wire bonding process. As a result of measurement, shearing force was 2.45 kgf/mm² and, it is enough bonding force against threshold force, 2 kgf/mm²s.

Keyword : CdTe X-ray imaging sensor, ROIC, Multi-energy X-ray, Flip chip Bump bonding, Au Wire bonding

요 약

CdTe 멀티에너지 X선 영상센서와 ROIC를 패키징 하기 위한 flip chip bump bonding, Au wire bonding 및 encapsulation 공정조건을 개발하였으며 성공적으로 모듈화 하였다. 최적 flip chip bonding 공정 조건은 접합온도 CdTe 센서 150 °C, ROIC 270 °C, 접합압력 24.5N, 접합시간 30s일 때이다. ROIC에 형성된 SnAg bump의 bonding이 용이하도록 CdTe 센서에 비하여 상대적으로 높은 접합온도를 설정하였으며, CdTe센서가 실리콘 센서에 비하여 쉽게 파손되는 것을 고려하여 접합압력을 최소화하였다. 패키징 완료된 CdTe 멀티에너지 X선 모듈의 각각 픽셀들은 단락이나 합선 등의 전기적인 문제점이 없는 것을 X선 3D computed tomography를 통해 확인할 수 있었다. 또한 Flip chip bump bonding 후 전단력은 2.45 kgf/mm² 로 측정되었으며, 이는 기준치인 2 kgf/mm² 이상으로 충분한 접합강도를 가짐을 확인하였다.

중심단어 : CdTe X선 영상센서, 신호입출력집적회로, 멀티에너지 X선, 플립칩 범프 본딩, 골드 와이어 본딩

I. INTRODUCTION

X선 검출은 아나로그 방식(필름)을 대체하여 사용되는 디지털 X선 검출방식에는 X선과 직접 반응하여 생성된 전자-정공 쌍을 읽어내는 직접(Direct) 검출방식과 X선을 섬광체(Scintillator)를 통해 빛으로 변환한 뒤 빛을 검출하여 읽어내는 간접(Indirect) 검출방식으로 구분된다. 최근에는 엑스선의 흡수효율이 높은 직접검출방식의 X-ray 센서에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다^{[1]-[8]}. 특히 직접 검출용 X선 센서와 센서에서 발생된 신호를 검출하는 ROIC(Readout Integration circuit)가 픽셀간에 결합되는 포톤 카운팅(photon counting) 영상획득이 가능한 픽셀 센서에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며 이는 흡수된 X선의 에너지를 구별할 수 있는 장점을 가지고 있다^[2].

포톤 카운팅 X선 센서 모듈의 구조는 X선의 흡수효율이 높은 센서(CdTe, CdZnTe)와 CMOS 공정으로 제작된 ROIC의 결합이 대표적인 예이다^[1]. 포톤 카운팅 X선 센서의 가장 큰 장점인 멀티에너지 X선 센서를 개발하기 위해서는 센서와 electronics(ROIC)는 micro bump로 결합되며 이를 위하여 마이크로 Bump 제작기술과 센서 각각의 픽셀과 ROIC의 픽셀을 접합하기 위한 fine pitch flip chip bump bonding 기술 등의 정밀 센서모듈 패키징 기술을 필요로 하고 있다^{[9]-[14]}. 본 연구에서는 픽셀피치 120 μ m, 64 x 64 array를 갖는 CdTe 센서와 4개의 멀티에너지 엑스선을 검출할 수 있는 ROIC를 이용하여 멀티에너지 X선 센서를 모듈화 하였으며 이를 위하여 Bump bonding시 접합온도, 접합하중 및 접합시간을 변화시켜 접합을 실시하였다. 또한 ROIC와 신호처리 보드간의 연결은 Au wire bonding 공정을 적용하였다.

Bump bonding의 상태를 분석하기 위하여 SEM, 광학현미경, X-ray Computed tomography를 이용하여 Bump의 결합상태를 확인하였으며 Bump의 접합 강도는 전단력 테스트를 통해 측정하였다.

II. MATERIAL AND METHOD

1. CdTe 센서 및 ROIC 구조

CdTe 센서와 ROIC의 픽셀피치는 120 μ m이며 각각 64 x 64 array로 이루어져 있으며 CdTe 센서는 (주)룩센테크놀로지사의 LXTRXPD0164 제품이며 Schottky-type의 전극구조를 갖는다. 각 픽셀의 단자는 90 μ m x 90 μ m의 크기에 200nm 두께의 Au로 형성되어 있다[Fig. 1]. ROIC는 (주)룩센테크놀로지사의 모델명 RXP01AM1이며, 사양은 16bit 출력과, 64x64 어레이를 갖으며 4 multi-energy level 출력 기능을 갖고 있으며 Cu pillar 위에 cap bump로 SnAg가 15 μ m 높이로 형성되어 있고 8각형 형태로 총 높이는 30 μ m이다[Fig. 2].

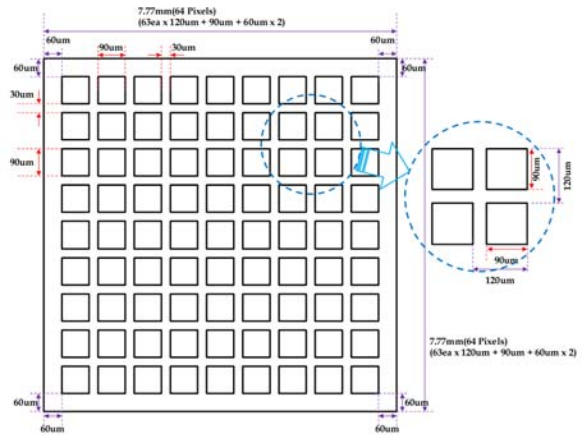


Fig. 1. Schematic illustration of Multi-energy CdTe sensor array.

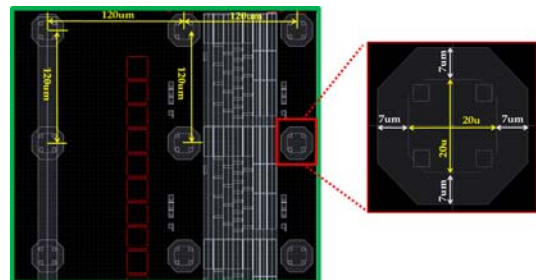


Fig. 2. Schematic illustration of Multi-energy ROIC Bump pad array.

2. CdTe 멀티에너지 X선 영상센서 패키징 공정

Fig. 3은 멀티에너지 X선 영상센서의 CdTe센서와 ROIC를 간략한 구조로 나타낸 그림으로 각각의 픽셀이 1대1로 대응하여야 하며 각각의 ROIC의 bump와 CdTe 센서의 패드가 결합되어야 각 픽셀의 X선 신호를 검출할 수 있는 구조이다. CdTe 센서와 멀티에너지 ROIC를 패키징하기 위해서 fine pitch flip chip bump bonding 공정을 확립하였고 CdTe 센서에서 발생된 전자는 ROIC에 전달되며 검출된 X선 신호는 ROIC의 PAD를 통해 외부 신호처리 컨트롤러로 전달되게 되며 이때 ROIC의 pad의 피치간격이 $80\mu\text{m}$ 로 매우 조밀하기 때문에 이에 적합한 직경을 갖는 1mil 이하의 Au wire를 이용하여 wire bonding공정을 개발하였다. wire bonding 후 wire간의 전기적 합선이 방지하기 위하여 비 전도성의 epoxy로 encapsulation 공정을 수행하여 패키징 공정을 완료하였다. Fig. 2는 측면에서 바라본 CdTe센서와 ROIC의 Bump가 접합된 형상을 나타내는 그림이다.

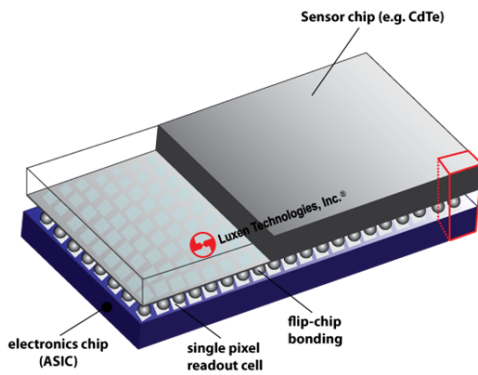


Fig. 3. Illustration of multi-energy CdTe sensors and ROIC bonding structure.

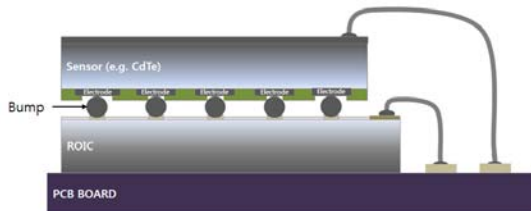


Fig. 4. Illustration of micro bump bonding and wire bonding for CdTe sensors and ROIC.

III. RESULT

1. Flip chip Bump bonding 공정

ROIC의 bump는 Cu pillar 위에 SnAg가 Cap으로 형성되어 있는 구조로 직경이 $34\mu\text{m}$ 이며 Cu pillar에 의하여 bump bonding시 bump의 bump의 무너짐을 막아 인접하는 픽셀 간에 bump들의 접촉을 방지하여 미세피치 접합을 가능하게 할 뿐 아니라 전기전도성의 우수성과 함께 전자 모듈의 방열특성을 향상시키는 장점도 있다^[8]. Flip chip bump 공정은 SET(프)사 FC150 flip chip bonder를 이용하여 수행하였고 Bump bonding시 CdTe 센서와 ROIC가 접합온도에 의한 손상을 최소화하기 위하여 CdTe센서와 ROIC의 온도를 달리하여 다양한 조건에서 bump bonding 수행하였다. 특히 CdTe 센서의 온도를 150°C 이하로 하여 열에 의한 손상을 최소화하기 하는 공정을 개발하였으며 접합온도 CdTe 센서 150°C , ROIC 270°C , 접합압력 24.5N , 접합시간 30s일 때가 최적 패키징 조건임을 확인하였다.

Fig. 5는 flip chip bump bonding 전후의 CdTe 센서 패드의 상태를 광학현미경으로 관찰한 사진으로써 확립된 접합 공정 수행 시 ROIC의 SnAg Bump가 패드에 일정하게 접합되었음을 확인할 수 있었다.

Fig. 6은 접합공정후의 SEM사진으로 Bump의 높이가 공정 전 $30\mu\text{m}$ 에서 공정 후 $25\mu\text{m}$ 로 감소되었음이 측정되었고 이를 통해 각각의 패드에 접합이 성공적으로 이루어졌음이 관찰되어졌다.

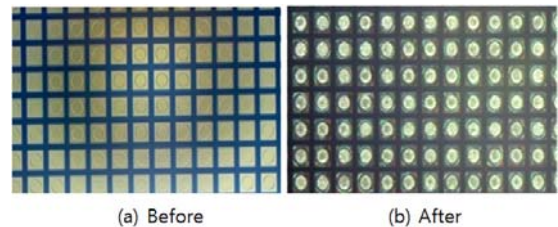


Fig. 5. Optical microscope images of Flip chip Bonding pad.

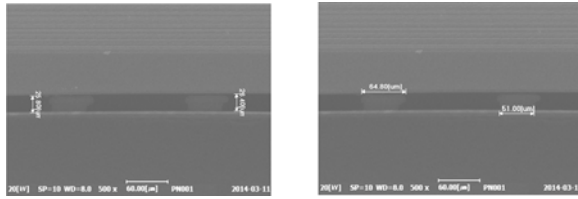


Fig. 6. SEM images of after Flip chip bump bonding.

Fig. 7은 비파괴 3D 엑스선 검사결과로써 CdTe 센서와 ROIC가 SnAg bump에 의해 각각 정확하게 결합되어 있음을 확인할 수 있었다.

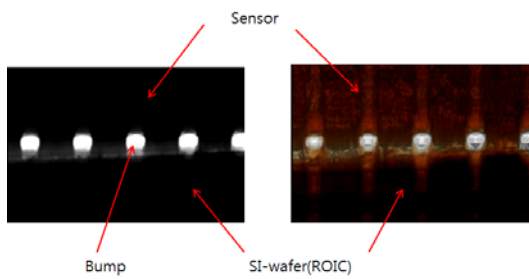


Fig. 7. Computed tomography Images of bump for after flip chip Bump bonding.

Fig. 8은 멀티에너지 X선 센서모듈의 Flip chip bonding force를 측정하기 위한 장치로써 접합된 bump 전단력의 측정은 상부에 위치한 load cell에 의해 측정되며, 측정결과 센서모듈이 2.45 kgf/mm² 이상에서 분리되었으며 이는 bump 면적과 재질을 고려한 기준치인 2 kgf/mm² 이상을 나타냄을 확인하였다.

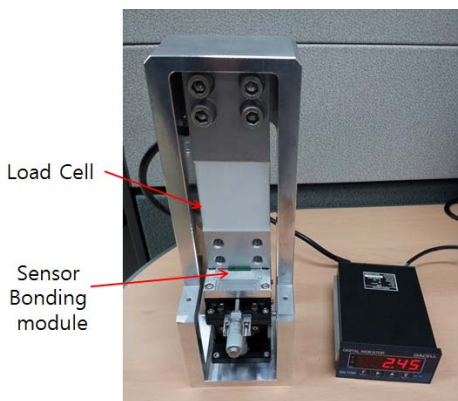


Fig. 8. Photography of Bonding force tester.

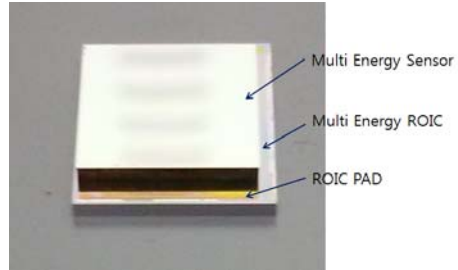


Fig. 9. Photography of multi-energy sensor module after Flip chip bump bonding process.

Fig. 9는 Flip chip bump bonding 공정이 성공적으로 완료된 멀티에너지 센서(CdTe)와 ROIC가 결합된 모듈 형상이다.

2. Au wire bonding 및 Encapsulation 공정

ROIC의 입출력 신호를 전달하기 위한 Pad의 폭은 65 μ m, 피치는 85 μ m이며 이와 같이 미세한 피치를 갖는 pad의 경우 wire bonding시 Ball의 직경이 pad 폭 이상이 되지 않도록 하며 bonding force를 최대화하기 위한 wire bonding 공정 조건을 확보하여야 한다. 0.8mil 직경의 Au wire를 이용하여 wire bonding을 수행하였을 경우 pad의 폭을 벗어나는 문제는 발생하지 않지만 Bonding force를 현재 65 μ m pad에서 최대화하기 위하여 1mil 직경의 Au wire를 이용하여 wire bonding 수행하였다. ROIC Pad의 폭과 유사한 ball이 형성되었고 bonding force도 0.8mil wire에 비하여 약 40% 이상 증가되었다. Fig. 10, 11은 ROIC와 PCB pad의 wire bonding 공정 완료후의 형상이다.

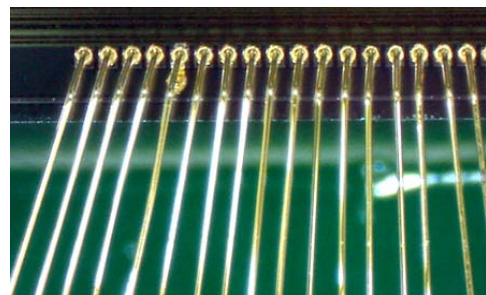


Fig. 10. Optical image of wire bonding for ROIC pad.

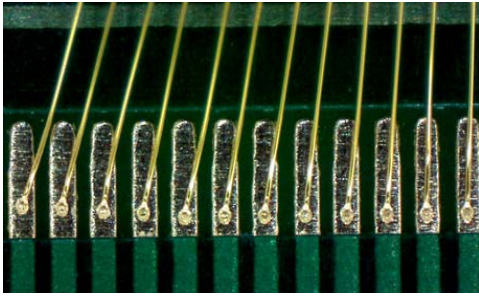


Fig. 10. Optical image of wire bonding for PCB pad.

Fig. 11은 패키징 공정이 완료된 CdTe 센서 모듈로써 wire bonding 공정 후에 수행되는 Encapsulation Bonding 된 wire가 외부의 접촉에 의한 wire간의 합선에 의해 발생하는 신호전달 및 전기적인 문제를 방지하기 위하여 wire에 절연성을 갖는 Epoxy를 도포하는 작업을 수행하는 것으로써 점도 및 경화조건을 고려하여 Epoxy technology 사의 Epo-Tek 301-2를 이용하여 공정을 수행하였고 도포 후 80℃에서 3시간 경화조건으로 센서모듈에 대한 열적 손상을 방지 하였다.

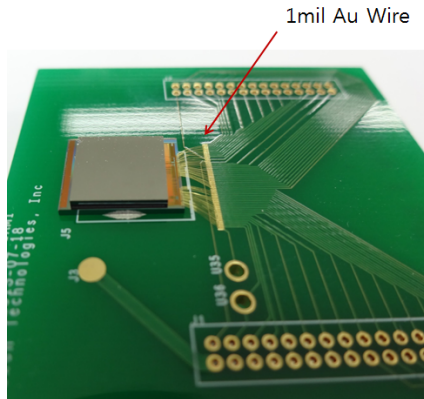


Fig. 11. Photography of multi-energy CdTe sensor module for packaging process.

IV. CONCLUSION AND DISCUSSION

1. 결론

CdTe 멀티에너지 X선 영상센서 모듈을 패키징 하기 위하여 flip chip bump bonding, Au wire bonding 및 encapsulation 공정기술을 개발하였으며 성공적으로 모

듈화 하였다. 최적 flip chip bonding 조건은 접합온도 CdTe 센서 150℃, ROIC 270℃, 접합압력 24.5N, 접합 시간 30s일 때임을 확인하였다. ROIC에 형성된 SnAg bump가 bonding이 접합이 용이하도록 CdTe 센서에 비하여 상대적으로 높은 접합온도를 설정하여 접합하였으며 CdTe센서가 실리콘 센서에 비하여 쉽게 파손되는 것을 고려하여 접합압력을 최소화하였다. 또한 Flip chip bump bonding후 전단력 측정결과 2.45 kgf/mm²을 얻었으며 이는 기준치인 2 kgf/mm² 이상으로 충분한 접합강도를 가짐을 확인하였다.

2. 고찰

일반적으로 SnAg bump의 용점이 약 220℃이나 CdTe 센서의 경도가 일반적인 실리콘 센서에 비하여 낮기 때문에 접합압력을 최소화하기 위하여 ROIC의 접합온도를 높게 설정 하였으며 CdTe 센서부의 접합 공정 온도는 150℃로 낮게 설정하여 bump bonding이 이루어지는 동안 CdTe 센서에 전달되는 열 충격을 최소화하였다. 그러나 CdTe의 bump bonding시 접합온도에 의한 영향을 제거하기 위하여 InSn 또는 SnBi 와 같은 120℃이하의 온도에서 접합이 가능한 bump를 적용한 flip chip bump bonding 공정기술의 개발이 필요할 것으로 사료된다.

Acknowledgment

This study was supported by the Regional Specialty Business Support Programs 2014 of the Ministry of trade, industry & energy(MOTIE) under contract No. R0002279.

Reference

- [1] Philips, B., Ed. 15th International Workshop "Room-Temperature Semiconductor X- and Gamma-Ray Detectors," IEEE Nucl. Sci. Symp.Conf. Rec., pp3585-3939, 2006.
- [2] Del Sordo, S., Abbene, L., Caroli, E., Mancini, A. M., Zappettini, A. & Ubertini, P., "Progress in Development of CdTe and CdZnTe Semiconductor Radiation Detectors for Astrophysical and Medical Applications," Sensors 9, 3491-3526, 2009.
- [3] Abbene, L. et al., "Hard X-ray Response of Pixellated CdZnTe Detectors," J. Appl. Phys. 105, 124508, 1-9, 2009.

- [4] Greer P B, Van Doorn T., "Polarimetric Performance of a Laue Lens Gamma-ray CdZnTe Focal Plane Prototype," J. Appl. Phys. 104, 084903, 1-7, 2008.
- [5] Abbene, L. et al, "Spectroscopic Response of a CdZnTe Multiple Electrode Detector, Medical physics, Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. A 583, 324-331. 2007.
- [6] Hyosung Cho, al., "Designig and Performance Testings of Microdot Detectors", The Korean Society of Radiology Vol. 1, No. 3, 2007
- [7] Jikoon Park, al., "The fabrication and evaluation of CdS sensor for diagnostic X-ray detector application", The Korean Society of Radiology Vol. 4, No. 2, 2010, 6
- [8] Hwayeon Yeo., "Development of Dual Energy Radiation Detector", The Korean Society of Radiology Vol. 4, No. 3, 2010, 9
- [9] Seung-min Chung and Young-Ho Kim., Fine Pitch and Low Temperature Bonding Using Solder Bumps and the Assessment of Solder Joint Reliability," Materalas Transactions, Vol. 48, No. 1, pp37-43, 2007.
- [10] T. Mitsuhashi et al., "Development of 3D-Packaging Process Technology for Stacked Memory Chips", Mater. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 970, 0970-Y03-06, 2007.
- [11] CuY. M. Liu and T. H. Chuang, "Interfacial Reactions between Liquid Indium and Au-Deposited Substrates", J. of Electron. Mater., Vol. 29, No. 4 pp. 405-410, 2000.
- [12] RT. Fukushima, "Self-Assembly Process for Chip-to-Wafer Three-Dimensional Integration", Proceedings of the 57th Electronic Components and Technology Conference, pp. 837-8411964, 2007.
- [13] K. Sakuma et al., "3D Chip Stacking Technology with Low-Volume Lead-Free Interconnections", Proceedings of the 57th Electronic Components and Technology Conference, pp 627-632. 2007.
- [14] L. Yan et al., "A Hermetic Package Bonded at Low Temperature with Cu/In/Sn/Cu Joint", To be presented in the 58th Electronic Components and Technology Conference, pp. 443-447, 2008.