Journal of Radiation Industry 15(1) : 19~22(2021)

방사선 검출용 화합물 반도체 웨이퍼의 성분 분석을 위한 XRF 자동화 매핑 시스템 개발

최효정[1] · 김한수[1] · 하장호[1] · 김영수[1,*]

[1]한국원자력연구원 방사선이용운영부

Development of an X-ray Fluorescence Automation System for Components Analysis of Compound Semiconductor Wafers

Hyojeong Choi[1], Han Soo Kim[1], Jang Ho Ha[1] and Young Soo Kim[1,*]

[1]*Radiation Utilization and Facilities Management Division, Korea Atomic Energy Research Institute, 29 Geumgu-gil, Jeongeup-si, Jeollabuk-do 56212, Republic of Korea*

Abstract - A new XRF automation system is developed to analyze the components of compound semiconductors such as CdTe and CdZnTe, which are currently manufactured. The system consists of an X-ray generator, a Si-PIN based X-ray detector module, two stepping motors that can be moved in two axes, a Z-axis stage that can be adjusted manually, a motor controller, and a lead shielded container. We implemented a XRF data acquisition software to control the motor, and acquire the XRF spectrum at each pixel. Up to 3-inch in diameter sample can be mounted on the sample holder. An XRF spectrum was obtained using a our CdZnTe wafer fabricated with Bridgman method, and elemental distributions of Cd, Zn, and Te on the wafer surface were mapped successfully.

Key words : XRF, Mapping, Qualitative analysis, Stepping motors

서 론

X-ray Fluorescence (XRF) 방법은 유기물과 무기물에 대한 원소의 정성 및 정량 측정을 위한 비파괴 분석 기술로, Friedman과 Birk에 의해 처음 개발되었다(Friedman and Birks 1948). XRF 시스템을 이용하여 신제품 개발, 환경 유해물질 분석, 품질보증과 같은 산업 분야뿐만 아니라, 물질의 정밀하고 정확한 화학적 분석이 요구되는 연구 분야에까지 다양하게 사용되고 있다. 화합물의 정량, 정성 분석을 위한 대표적인 방법으로는 유도결합 플라즈마 원자발광분광법(ICP-MS, Inductively coupled plasma-mass spectroscopy) (Nelms 2005)이 있지만 기기 운용에 있어 전문성이 필요하고 가격이 비싸다는 단점이 있다. 또한, 원소분석기의 경우, 미지 시료의 원소 분석 조성비를 구할 수 있지만, 주로 탄소, 수소, 질소, 황 및 산소 등의 함량을 분석하는 기기로 다양한 종류의 원소 분석에는 적합하지 않다. 반면, XRF를 사용한 분석 방법은 원자번호가 낮은 보론부터 원자번호가 높은 우라늄까지 다양한 원소들의 미량 분석이 가능하다. 또 다른 장점으로는 초보자도 사용이 가능하며, 전처리가 필요하지 않으므로 샘플의 크기에 제한이 없다. 따라서 웨이퍼 상태의 화합물 반도체를 직접 분석할 수 있다.

방사선 검출기로서의 화합물 반도체는, 이를 구성하고 있는 원소의 비율 및 균일성이 성능을 크게 좌우한다. 특히, CdZnTe 화합물 반도체의 경우 Zn의 조성비에 따라 밴드갭,

* Corresponding author: Young Soo Kim, Tel. +82-63-570-3702, Fax. +82-63-570-3748, E-mail. yskim75@kaeri.re.kr

입사 감마선당 생성되는 전자-정공 쌍의 수, 비저항 등에 차이가 발생한다. 따라서 단결정 내에서 Zn이 균일한 조성비를 가져야 하는데, Zn의 분리 계수 때문에 샘플의 위치에 따라 달라진다고 알려져 있다(James *et al*. 1995). 이 현상은 Bridgman 방법으로 성장한 단결정의 특징으로, Zn의 조성비를 분석하여 목표 조성비를 갖는 웨이퍼를 선택하는 것이 필수이다. 현재 개발 중인 방사선 검출을 위한 CdTe, CdZnTe와 같은 화합물반도체의 성분 분석을 위해 XRF 자동화 시스템을 개발하였다. 본 연구에서는, 반도체 웨이퍼 내 원소들의 분포를 측정하고 분석할 수 있도록 XRF 시스템에 두 개의 축으로 이동 가능한 스테핑 모터를 추가하였으며, 자동으로 분석 대상의 표면 전체를 한 번에 스캔할 수 있도록 측정 소프트웨어를 구현하였다. 구현한 시스템을 사용하여 본 연구진이 제작한 CdZnTe 화합물 반도체 웨이퍼의 원소 분포를 측정하였다.

재료 및 방법

XRF의 동작 원리는 다음과 같다: 샘플에 조사된 X-ray는 샘플의 원자 가장 안쪽의 전자에 에너지를 전달하며, 이를 광전 효과(photoelectric effect)라 한다. 이 전자는 전자 껍질에서 방출되어 공동(vacancy)이 생성되며, 안정한 상태로 돌아가기 위해 바깥쪽 껍질의 전자가 이 공동으로 채워지며 각 껍질의 에너지 차만큼을 특성 X-선으로 방출한다. 이때 검출되는 특성 X-선을 XRF라 하며 검출기에 의해 이 에너지를 측정하게 된다.

구현한 XRF 자동화 매핑 시스템을 Fig. 1에 나타내었다. 두께 2 mm의 납벽으로 차폐된, 인터락 시스템을 갖춘 컨테이너를 제작하여 컨테이너 내부에 XRF 시스템 및 2축 모터를 위치시켰다. Amptek사의 Mini-X (최대 파워: 4 W, 최대 관전압: 50 kV) 및 X-123 Si-PIN 스펙트로미터 모듈을 사용하였다. 그리고 X, Y축으로 구동하여 샘플의 표면을 스캔하기 위해 두 개의 스테핑 모터를 샘플부에 설치하였으며 이 모터의 최소 이동 가능 거리는 1 μm이다. 다이얼을 수동으로 돌려 샘플 거치부 Z축의 위치를 조절할 수 있다. 또한, 2축의 모터를 제어하기 위해 남일광학기기사의 NMC-201N 모터 컨트롤러를 사용하였다. 모터를 제어하여 분석 샘플의 표면을 이동시키면서 각 위치당 XRF 스펙트럼을 획득할 수 있도록 Visual Studio를 사용하여 소프트웨어를 구현하였다. 구현한 소프트웨어의 graphical user interface (GUI)는 Fig. 2와 같다. 소프트웨어의 주요 기능으로는, X-123 스펙트로미터와 USB로 연결하여 실시간으로 데이터 획득, 모터 컨트롤러와 시리얼 통

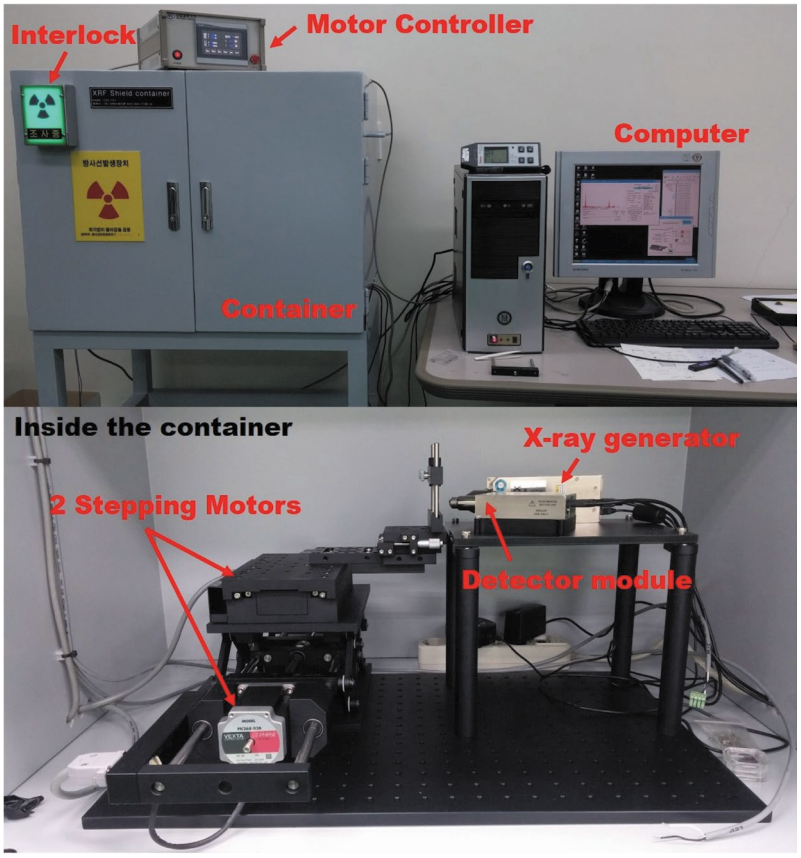

Fig. 1. Layout of an implemented XRF system.

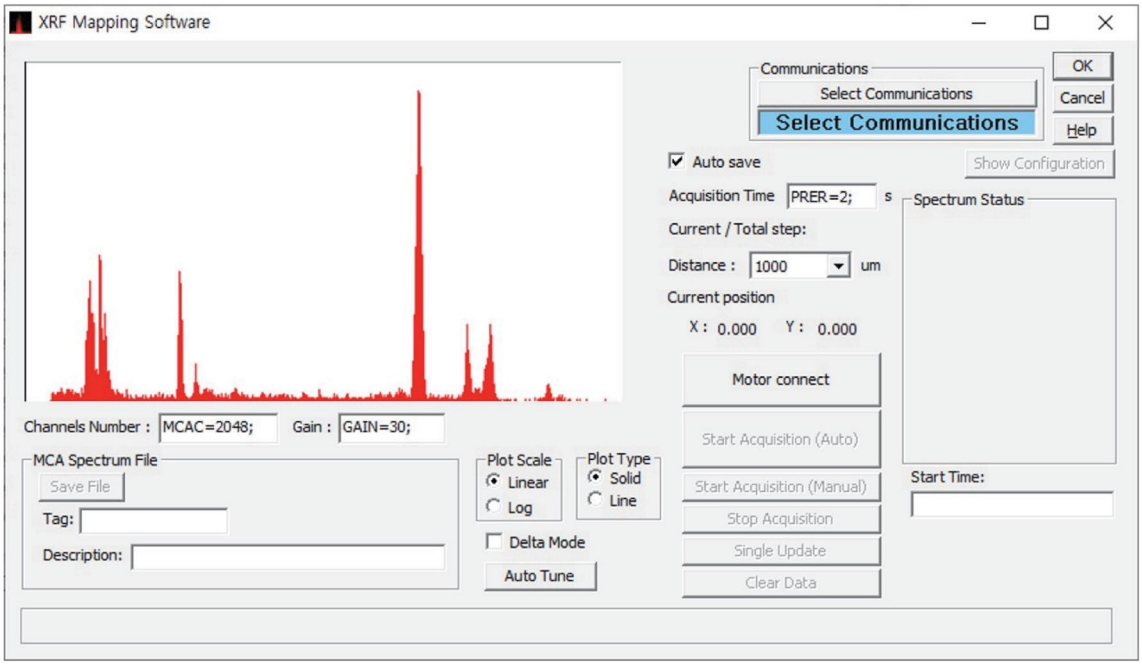

Fig. 2. GUI of the XRF mapping software.

신을 통한 2축 모터의 제어, 각 획득한 픽셀당 스펙트럼 자동 저장 등이다. 픽셀 간의 거리, 즉 모터가 한 번 움직이는 거리는 μm 단위로 설정할 수 있으며, 한 픽셀에서의 데이터 획득 시간을 초 단위로 설정할 수 있다. 오토 모드의 경우 각 픽셀마다 획득한 스펙트럼 데이터를 저장하며 매뉴얼 모드의 경우 한 픽셀에서의 스펙트럼 데이터를 획득할 수 있다. 이외에도 실시간으로 획득하고 있는 스펙트럼의 스케일을 로그 또는 선형으로 조정할 수 있다.

결과 및 고찰

X-ray 튜브의 타겟은 Ag target을 사용하였으며, 4 W (40 kV, 100 mA)의 X-ray를 샘플에 조사하였다. Low-Pressure Bridgman 방법으로 성장한 3인치 CdZnTe 잉곳을 성장 방향에 수직으로 자른 웨이퍼의 Cd, Zn 및 Te의 분포를 분석하였다. 측정 시 검출기 모듈의 온도는 −60°C로 유지하였다. 스캔 영역은 X, Y축 각각 60 mm이며, 픽셀 간 간격은 2 mm로 측정하였다. 각 픽셀당 데이터 획득 시간은 10 s로, 총 스펙트럼 획득 시간은 9,000 s이다.

Fig. 3은 임의의 한 픽셀에서의 스펙트럼 결과를 나타낸다. Cd, Zn 및 Te 원소 각각의 특성 X-선 피크를 확인할 수 있다. Bearden (1967)에 따르면, Cd, Te 및 Zn의 특성 X-선의 K-alpha 에너지는 각각 23.1, 8.6 및 27.4 keV이다. K-alpha는 일반적으로 원소의 특성 X-선 중 가장 큰 세기를 갖는 스펙트럼 라인으로, 스펙트럼에서 이 K-alpha 피크를 분석함으로써

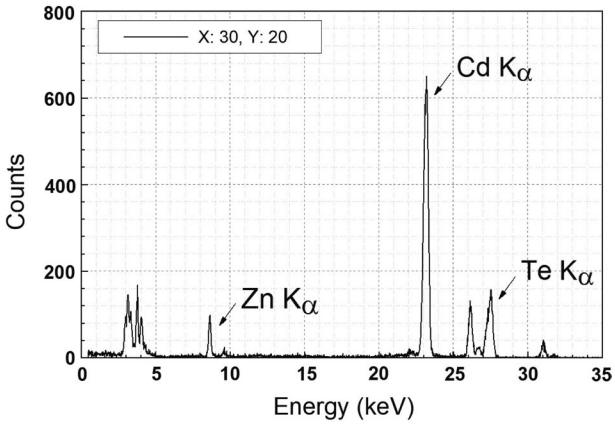

Fig. 3. XRF spectrum acquired at a pixel (X: 30 mm, Y: 20 mm).

원소를 정량적, 정성적으로 분석할 수 있다. Fig. 3의 스펙트럼에서 보는 것과 같이, 픽셀마다 각 원소의 K-alpha 피크의 세기를 기록하여 정규화(normalization)를 통해 매핑하였으며, 이를 Fig. 4에 나타내었다. 이를 통해 웨이퍼 표면의 각 원소별 농도 분포를 확인할 수 있다. Fig. 4의 오른쪽 아래 부분에 샘플부에 장착한 CdZnTe 웨이퍼의 모습과 실제 스캔 영역을 붉은색 사각형 형태로 표시하여 나타내었다. Cd, Te 원소의 고른 분포에 비해 Zn의 농도는 가운데 부분에서 상대적으로 낮은 분포를 나타내는 것을 쉽게 확인할 수 있다. CdTe 화합물 반도체의 대표적 결함에는 격자 구조 내에 Cd vacancy가 발생하여 이로 인해 polarization effect가 발생한다. 반면에 CdZnTe 화합물 반도체는 Cd vacancy에 Zn이 결합하여

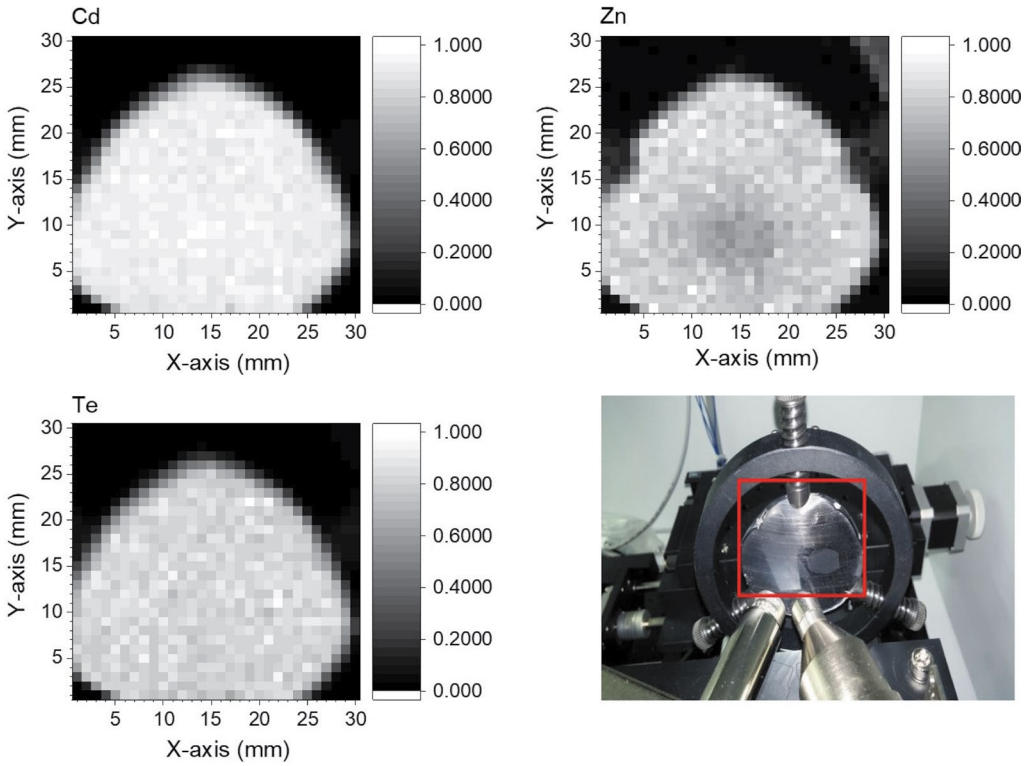

Fig. 4. Results of the elements distributions on CdZnTe wafer. The measurements data for each pixel were mapped.

이 영향을 방지한다. 따라서 CdZnTe 물질의 Zn 농도 분포를 확인하는 것이 매우 중요하며, 본 XRF 시스템을 통해 간단히 분석할 수 있다.

결 론

이 논문에서는, 넓은 면적을 갖는 화합물의 원소 분포를 쉽게 측정 가능하도록 스테핑 모터 2개를 장착한 XRF 자동화 매핑 시스템을 구현하여 나타내었다. 마이크로미터 단위의 위치 제어가 가능하기 때문에 측정 결과를 바탕으로 해당 측정 샘플의 정확한 매핑이 가능하다. 본 논문에서 측정한 CdZnTe 웨이퍼와 같이 전체 원소 분포를 확인하여 성장 조건이 화합물 내 원소 분포에 미치는 영향을 확인하기에는 충분하다고 판단된다. 그러나 측정하고자 하는 픽셀 수가 많아질수록 데이터 획득 시간이 상당히 오래 걸리며 데이터 정리에도 많은 시간이 필요하다. 향후 본 연구진이 개발 중인 CdZnTe 센서를 XRF 시스템에 적용하여 보다 높은 검출 효율을 가지며 넓은 검출 가능 대역을 갖는 XRF 시스템을 개발할 예정이다. 또한 소프트웨어 내에서 전체 획득 데이터를 처리하여 자동으로 매핑할 수 있는 프로그램을 구현하여 측정 및 분석 시간을 단축할 예정이다.

사 사

It was technically supported by radiation equipment fabrication center in KAERI.

참 고 문 헌

Bearden JA. 1967. X-ray Wavelengths. *Rev. Mod. Phys*. **39**:78-124.

Friedman H and Birks LS. 1948. A Geiger Counter Spectrometer for X-ray Fluorescence Analysis. *Rev. Sci. Instrum*. **19**:323-330.

James RB, Schlesinger TE, Lund JC and Schieber M. 1995. $Cd_{1-x}Zn_xTe$ Spectrometers for Gamma and X-Ray Applications. pp. 341. *In*: Semiconductors for Room Temperature Nuclear Detector Applications (Schlesinger TE and James RB eds.), Elsevier, Academic Press.

Nelms SM. 2005. ICP-MS Spectroscopy Handbook. Blackwell Publishing.

Received: 5 February 2021
Revised: 16 February 2021
Revision accepted: 6 March 2021