

## 중이온빔을 이용한 ERD 분석 장치 시험 분석

### Test of ERD analysis system using heavy ion beam

김석권, 김인중, 선광민, 변수현, 최희동

서울대학교  
서울특별시 관악구 신림동 산56-1

#### 요 약

서울대학교 기초과학교육연구공동기기원의 질량분석 이온빔가속기 (Accelerator Mass Spectrometer : SNU-AMS)의  $-10^\circ$  빔포트에 ERD (Elastic Recoil Detection) 분석을 위한 빔라인과 표적함을 구성하였다[1]. 표적함 설치를 완료하여 시험 분석을 수행하였다. 또한 표적과 검출기를 자동 설정하기 위한 장치를 설치 중이다. 향후 이온빔 에너지 검정과 반도체 시료의 ERD 분석을 수행할 것이다.

#### Abstract

The beam line and target chamber to be used for the ERD (Elastic Recoil Detection) analysis are constructed at  $-10^\circ$  beam port of the Accelerator Mass Spectrometer (SNU-AMS) in the National Center For Inter-University Research Facilities of Seoul National University[1]. The target chamber has been equipped, and the test experiments for the ERD analysis was performed. Now the automatic system for the target mount and detector position are being installed, and the energy calibration and analysis for semiconductor surface layer will be performed.

#### 1. 서 론

서울대학교 기초과학교육연구공동기기원의 질량분석 이온빔가속기 (Accelerator Mass Spectrometer : SNU-AMS)에 ERD (Elastic Recoil Detection) 분석을 위한 빔라인과 표적함을 구성하였다[1]. ERD 분석법은 H, C, N, O 등의 경원소 분석에 활용되며, 측정 스펙트럼으로부터 소재 표면에서의 경원소의 깊이 분포 등을 구해낼 수 있다. 또한 경원소 분석에서 입사 입자로서 중이온빔을 사용할 경우에는 깊이 분해능과 깊이 분포 측정의 정밀도를 향상시킬 수가 있게 된다.

현재 표적함을 설치 완료하고, 검출기 및 계측 시스템을 장착하여 시험 분석을 수행하였다. 먼저 양성자 빔을 이용하여 빔라인 및 표적함의 정렬을 확인하고, 검출 시스템의 성능을 검정하였다. 또한 탄소 중이온빔을 이용하여 Si-wafer와 Melamine에 대한 표면 분석을 수행하였다.

## 2. 계측계통 구성

반도(recoil)된 입자를 검출하기 위한 하전입자 분광계통과 산란된 이온을 검출하기 위한 하전입자 분광계통을 병행하여 설치하고 각각의 채널-에너지 검정을 수행하였다. 그림 1은 하전입자 분광계통과 빔전류 측정을 위한 계통이다. 하전입자 분광계통은 검출기, 전원공급기, 전치증폭기, 정밀펄서, 증폭기, ADC, MCA, PC 등으로 구성되어있다. 그림 2는 표적함 내부에서의 표적과 검출기의 배치를 나타내는 그림이다.

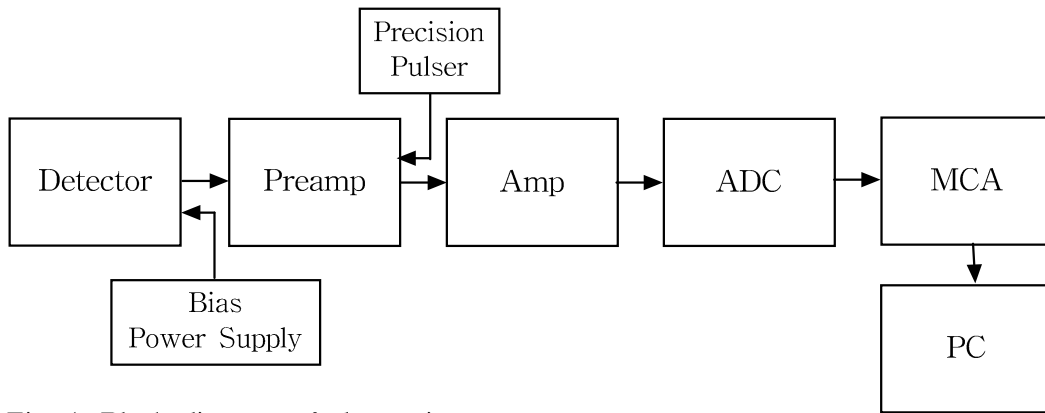


Fig. 1. Block diagram of electronics.

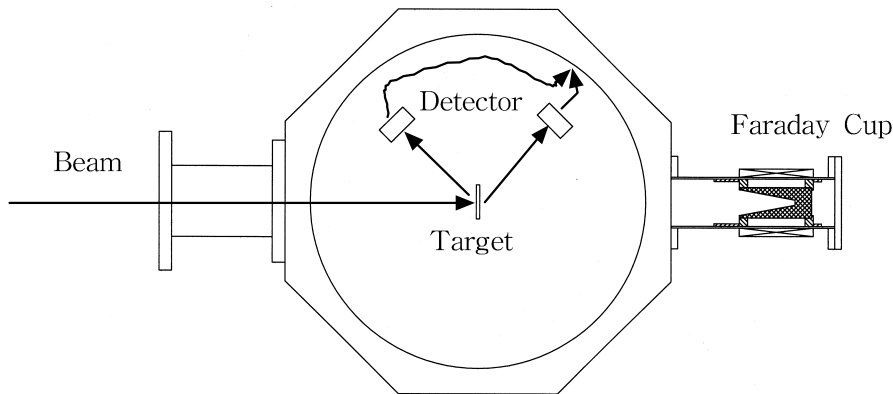


Fig. 2. Schematic diagram of target and detector position.

계측계통의 에너지 검정을 위해서 정밀펄서와 Am-241, Th-230 표준 알파 선원을 사용하였다. Am-241 표준알파선원에서 방출되는 5.486 MeV의 에너지를 가진 알파입자에 의한 다중과고 분석기 상의 에너지 스펙트럼에서 5.486 MeV에 해당하는 채널번호를 결정한 후, 펄서의 높이를 조정하여 이에 해당하는 다중과고 분석기 상의 채널번호가 알파 에너지에 해당하는 채널번호와 같도록 한다. 이렇게 결정한 펄서 높이는 5.486 MeV의 에너지를 가진 알파입자가 검출되었을 때의 펄서 높이와 같다. 그래서, 입자의 펄서 높이에 대한 입자 입자의 에너지를 알 수 있게 된다.

여기서 펄서 높이를 바꾸면서 그 높이와 채널번호의 관계식을 구하면 채널-에너지 검정식을 구할 수 있게 된다. 여기서 구한 채널-에너지 관계식은 다음과 같다.

$$\text{Energy}[\text{keV}] = 1.590 \times \text{Channel}[\text{ch}] + 20.97 \quad (1)$$

### 3. 시험 분석

#### 1) 양성자 스펙트럼

빔라인 및 표적함, 그리고 전체 계측계의 성능 확인을 위하여 양성자 빔을 이용한 시험분석을 수행하였다. AMS 가속기에서는 이온원에서 양성자 빔을 발생시켜 가속시킨후 다목적 빔라인의 Faraday cup을 이용하여 빔 전류를 15 nA 정도를 유지하였다. 이후 AMS 가속기와 빔라인을 진공 연결한 후 양성자 빔을 표적에 위치한 scintillating plate를 통해서 모니터하였다. 표적에서의 빔크기는 약 4 mm 정도이다. 본 시험 분석의 첫 단계로 실리콘 웨이퍼 표면의 ZnS층의 RBS (Rutherford Backscattering Spectrometry) 스펙트럼을 분석하였다. ZnS 시료는 분말을 에탄올에 녹여서 Si-wafer 표면에 도포하여 제작하였다. 두께는 약 100  $\mu\text{m}$  정도이다. 실험에서 얻어진 RBS 스펙트럼은 그림 3과 같이 정상적으로 얻을 수 있었다. 실험에 사용된 실리콘 웨이퍼는 두꺼운 시료이므로 기울임 구조[2]를 사용하였고, 입사 양성자 빔의 에너지는 2.0 MeV, 입사각은 15°, 빔전류는 15 nA, 충전하량은 15  $\mu\text{C}$ , 산란각은 130°이다. 스펙트럼에서 오른쪽 화살표 부분이 Zn에 의해 산란된 양성자 스펙트럼이고 왼쪽 화살표가 Si-wafer에 의해 산란된 스펙트럼이다. S의 스펙트럼은 전체 스펙트럼에서 분별이 불가능하였다.

양성자 빔을 이용한 시험 분석을 통해서 빔라인 및 표적함의 정렬이 완벽하게 이루어 졌음을 확인하였다. 빔이 입사하는 각도는 다목적 빔라인에서 -10°이고 AMS 가속기 운영 프로그램[3] 상에서 설정한 switching magnet의 위치와 표적에서의 빔의 위치가 잘 일치하였다.

#### 2) 탄소 이온빔 스펙트럼

양성자 빔을 이용한 빔라인 및 표적함의 정렬을 확인한 후 중이온빔의 시험 분석으로 탄소 이온빔을 이용하여 실험을 수행하였다. 양성자 빔에서와 마찬가지로 먼저 탄소 이온빔을 표적에 장착한 scintillating plate를 이용하여 빔 모양 및 크기를 조정하여 최적의 빔 상태를 만들었다. 그림 4는 빔 직경 3 mm의 빔 spot을 LCD 모니터에서 본 것이다.

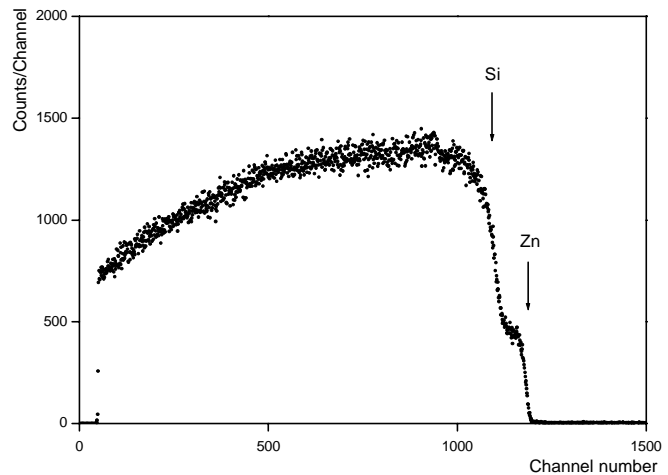


Fig. 3. Proton backscattering spectrum at the angle of 130° obtained by using the PIPS detector. [ZnS layer in the 0.5 mm Si-wafer]

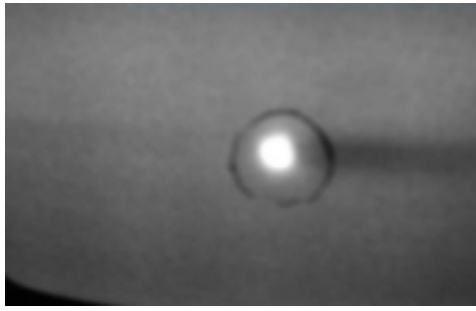


Fig. 4. Carbon ion beam spot in the target.

양성자 빔에서와 같이 Si-wafer 표면에 도포된 ZnS에 대한 분석을 수행하였다. 그림 5는 Si-wafer의 Si에 의해서 산란된 탄소 이온의 스펙트럼(RBS spectrum)이다. 입사 탄소 이온빔의 에너지는 3.0 MeV이고, 입사각은 15°, 산란각은 160°, 빔전류는 약 25 nA, 총전하량은 15  $\mu\text{C}$  정도였다. 그림의 오른쪽 화살표가 Si에 의해서 산란된 탄소의 high-energy edge이다.

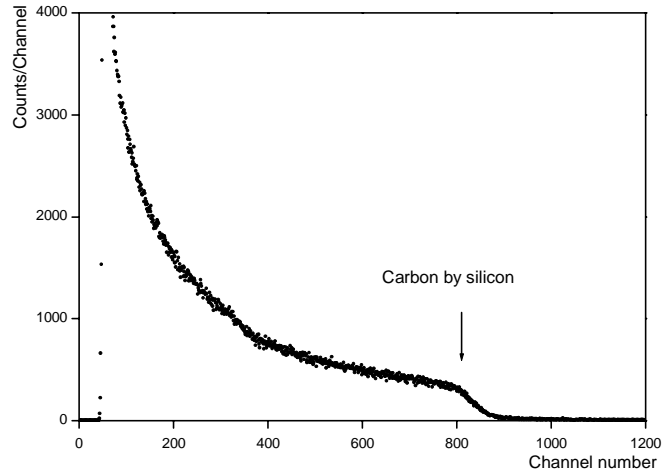


Fig. 5. Carbon backscattering spectrum at the angle of 160° obtained by using the PIPS detector. [ZnS layer on the 0.5 mm Si-wafer]

또한, 멜라민(Melamine :  $\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6$ )에 존재하는 수소의 양에 대한 스펙트럼을 측정하였다. 멜라민은 20  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 의 backing 탄소층 위에 20  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 의 두께로 형성되어 있다[4]. 입사 탄소 이온빔의 에너지는 3.0 MeV이고 표적에 수직으로 입사하며, 30° 위치에 ERD 검출기를 설치하였고, 120° 위치에 RBS 검출기를 장착하였다. 빔전류는 약 1 nA, 총전하량은 0.12  $\mu\text{C}$  정도로 유지하였다. 이것은 이온빔의 과다 피폭으로 인한 멜라민의 손실을 줄이기 위함이다. 그림 6은 멜라민 내의 질소층에 의해서 생성된 탄소이온의 스펙트럼이다. 화살표가 질소에 의해 산란된 탄소이온의

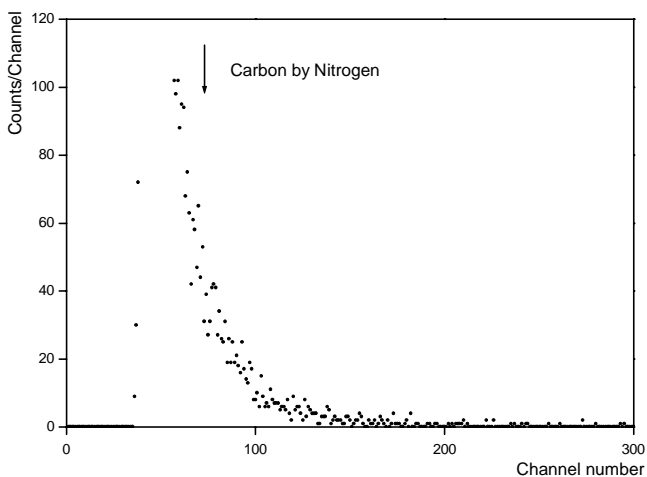


Fig. 6. Carbon backscattering spectrum at the angle of 120° obtained by using the PIPS detector. [20  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  melamine foil on the 20  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  carbon foil]

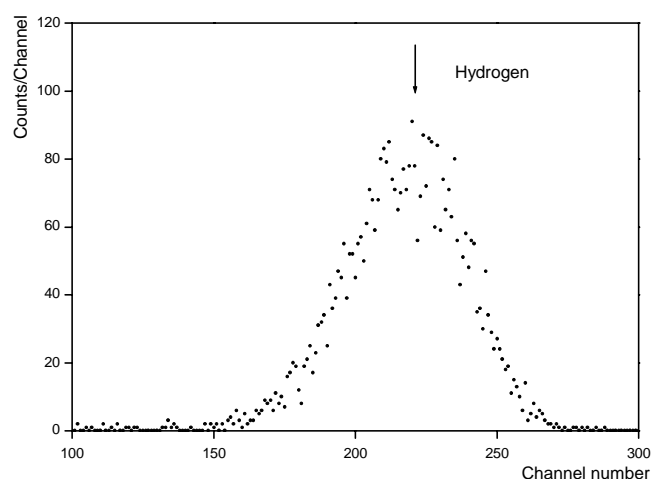


Fig. 7. Proton forward recoil spectrum at the angle of 30° obtained by using the PIPS detector. [20  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  melamine foil on the 20  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  carbon foil]

high-energy edge 이다. 그림 7은 반도각  $30^\circ$ 에서 탄소 이온에 의해 반도된 양성자의 스펙트럼 (ERD spectrum)을 나타낸다. ERD 실험에서는 분석 목표가 되는 수소 이외의 다른 입자의 간섭을 없애기 위하여 검출기 전단에  $4.4 \mu\text{m}$ 의 마일라 foil을 장착하였다. 마일라의 두께는 모사를 통해서 반도 양성자를 제외한 탄소, 질소를 제거할 수 있는 두께로 결정하였다. 그림에서 탄소 이온에 의해서 반도된 수소는 피크 모양으로 나타나게 된다.

현재 표적과 검출기를 자동 설정하기 위한 장치를 설치 중이다. 향후 이온빔 에너지 검정과 반도체 시료의 ERD 분석을 수행할 것이다.

## References

1. 김석권, 김인중, 선광민, 변수현, 최희동, “중이온빔을 이용한 ERD 분석 장치 개발”, 2001 춘계 학술발표회 논문집, 한국원자력학회.
2. J. Tirira, Y. Serruys and P. Trocellier, “Forward Recoil Spectrometry”, 130, Plenum Press, 1996.
3. J.C. Kim, C.H. Lee, I.C. Kim, J.H. Park, J. Kang, M.K. Cheoun, Y.D. Kim and C.B. Moon, Nucl. Instr. and Meth. B172 (2000) 13.
4. MICROMATTER Co., 123 Harborview Lane, P.O. Box 123, Deer Harbor, WA 98243-0123, U.S.A.