

탄소 이온빔을 이용한 Au, Ag, Cu 박막 두께 분석

Thickness Analysis of Au, Ag, Cu Thin Foils by Using Carbon Ion Beam

김석권, 김인중, 최희동

서울대학교
서울특별시 관악구 신림동 산56-1

요 약

서울대학교의 질량분석 이온빔가속기(Accelerator Mass Spectrometer)의 -10° 빔포트에 설치된 표적함[1,2]을 이용하여 금속 박막 시료의 두께를 측정하였다. 실험에는 탄소 이온빔을 사용하였으며, Au, Ag, Cu 등의 시료에 대해 RBS 스펙트럼을 측정하였다. 스펙트럼은 SIMNRA code[3]에 의해 분석하였다. 표준 시료인 Au 박막을 이용하여 분석 장치와 분석 방법의 타당성을 확인하고, Ag, Cu의 미지의 박막 시료를 분석하였다. 시료의 두께는 표준시료에서 3% 내외로 결정할 수 있었다.

Abstract

The thickness of metal thin foil samples are measured in the target chamber of -10° beam port of the Accelerator Mass Spectrometer in Seoul National University[1,2]. Carbon ion beam is used in the experiments, and the measured spectra of Au, Ag, Cu samples are analyzed by using the computer code SIMNRA[3] in the RBS method. The measurement system and analysis method are confirmed by using the standard sample Au, and the thickness of unknown samples, Ag, Au are determined. The thickness are determined within about 3% in the standard sample.

1. 서 론

서울대학교 기초과학교육연구공동기기에 설치되어 운영되고 있는 질량분석 이온빔가속기(Accelerator Mass Spectrometer : SNU-AMS)에 이온빔 분석을 위한 빔라인과 표적함을 구성하여 예비실험 및 분석 방법론 개발을 위한 시험분석을 수행한 바 있다[1,2]. 가속기를 이용한 이온빔 분석에는 RBS(Rutherford Backscattering Spectrometry), ERD(Elastic Recoil Detection),

NRA(Nuclear Reaction Analysis) 등의 방법이 있다. RBS 방법은 주로 중원소의 분석에 사용되고, ERD 방법은 수소의 깊이 분포 측정 등의 경원소 분석에 많이 사용된다. 또한 최근에는 중이온빔을 이용한 경·중원소의 분석이 적극 활용되고 있다. 중이온빔의 이용이 다양하게 확산되는 이유는 기존의 양성자, He을 이용한 분석법으로 측정이 어려운 원소들의 정량 분석에 적합하기 때문이다. 국내의 한국지질자원연구원을 비롯하여 국외의 여러 연구기관에서 중이온빔을 이용한 응용연구를 수행하고 있다.

본 연구에서는 이온빔 분석용 표적함 및 측정 시스템의 건전성을 확인하기 위하여 탄소 이온빔을 이용한 RBS 분석법을 이용하여 Au, Ag, Cu 등의 시료의 두께를 측정하였다. 또한, 최근에 Mayer에 의해서 개발된 SIMNRA code[3]를 이용하여 스펙트럼 simulation과 분석을 병행하였다.

가속기 운용 측면에서 볼 때 SNU-AMS 가속기에서의 탄소 이온빔을 이용한 이온빔 분석은 기존의 He을 이용한 분석법보다 이온원에서 이온빔 발생의 편리성과 높은 에너지의 이온빔이 활용 가능하다는 점에서 우수하다. 본 연구는 앞으로의 중이온빔을 이용한 이온빔 분석의 다양한 활용을 위한 준비단계로서 우선 탄소 이온빔의 이용 가능성을 확인하였다.

2. 실험

본 연구에서는 탄소 이온빔을 이용하여 Au, Ag, Cu 등의 박막 시료의 두께를 측정하였다. 표준 박막 시료인 Au를 표적으로 사용하여 본 이온빔 분석 장치를 이용한 RBS 방법의 신뢰성을 확인하는 실험을 수행하였다. 먼저 SNU-AMS 가속기의 이온원에서 탄소 이온빔을 인출하여 표적함까지 수송하였다. 이온빔 인출을 위해서 SNU-AMS 가속기의 AMS 전용 이온원인 multi-cathode ion source를 이용하였다. 이온원에서 가속관과 반대 방향으로 인출된 이온빔은 전자석을 이용하여 180° 방향전환을 한 후 가속관으로 이동한다. 가속관에서 에너지를 전달받은 이온빔은 focusing electrostatic quadrupole, beam steerer를 거치면서 빔 특성이 조정되어서 빔라인 및 표적함으로 입사하게 된다. 이 과정은 가속기 전체 시스템을 control하는 컴퓨터를 이용하여 조정된다[4].

분석에 사용된 입사 탄소 이온빔의 에너지는 3.0 MeV이고, 표적에 수직으로 입사하여 160°의 각도로 후방 산란된 입자들의 스펙트럼을 PIPS(Passivated Implanted Planar Silicon) 검출기를 이용한 계측시스템으로 측정하였다. 그림 1은 전체 계측시스템의 계통도이다. 계측시스템은 검출기, 전치증폭기, 증폭기, ADC, MCA(자료획득장치) 등으로 구성되어 있고, 불감시간 확인을 위하여 60 Hz 정밀펄서의 출력을 전치증폭기에 연결하였다. 계측시스템의 에너지 검정으로서 정밀펄서와 Th-230 표준 알파 선원을 이용하여 스펙트럼의 채널-에너지 관계식을 구하였다[2].

그림 2는 Au 표적에서 산란된 탄소 이온의 RBS 스펙트럼이다. 탄소 이온빔의 표적에서의 크기는 대략 5 mm, 표적과 PIPS 검출기 간의 거리는 168.5 mm, 검출기의 입체각은 2.85 msr, 탄소 이온의 전하상태는 가속부의 전단에서 (-1) 상태, 가속부의 전하교환기를 통과한 이후 가속부 후단 및 표적함 위치에서 (+2) 상태이다. 탄소 이온빔 전류는 약 10 nA, 검출기로의 총 입사빔은

7.7×10^9 particles · sr이었다.

미지 시료인 Ag와 Cu 두 시료는 mylar에 각각을 증착시켜서 만든 것이다. 실험은 Au와 동일한 상태에서 수행하였다. Ag의 경우 검출기로의 총 입사빔은 2.0×10^{10} particles · sr이고, Cu에서는 2.6×10^{10} particles · sr이었다.

3. 박막 두께 결정

측정 스펙트럼에서 시료의 두께를 알아내기 위해서 SIMNRA code[3]를 이용하였다. SIMNRA는 RBS는 물론이고, 수 MeV의 이온빔을 이용하는 NRA, ERD 등에 아주 적합한 분석 프로그램이다. Rutherford cross section과 non-Rutherford 및 nuclear reaction cross section data를 포함하고 있다. 거의 모든 입사 이온에 대해서, 그리고 다양한 표적-검출기 배치에 대해서 simulation이 가능하다[5]. 이 code의 저지단면적은 Andersen-Ziegler[6,7]와 최근의 Ziegler 자료[8]를 모두 활용하고 있으며, 여기에는 He, proton 외에도 중이온빔의 저지단면적[8]도 포함하고 있다.

실험 상태와 동일한 배치 조건에서 simulation을 수행하였다. 그림 2에서 실선으로 나타낸 것이 SIMNRA를 이용한 계산 결과이다. Simulation 방법은 우선 입력으로 이온빔의 정보(종류, 에너지, 입사각, 산란각, 채널-에너지 관계식 등), 표적 정보(종류, 검출기 불감층 두께 등)를 입력하고, 측정 스펙트럼을 열어서 fitting을 시작한다. 이렇게 해서 입사 이온빔의 개수와 표적의 두께가 동시에 계산된다. Fitting은 저지단면적과 산란의 kinematics, 산란단면적 등을 이용하여 수행된다[9].

Simulation 과정에서의 중요한 인자로서, 다중산란효과 및 straggling을 고려하였고, 또한 PIPS 검출기의 dead layer에서의 에너지 손실도 고려하였다. 실험 결과와 비교했을 때, high-energy edge와 low-energy edge 부분, 그리고 최대 피크 부분은 잘 일치하고 있으며, 피크부분의 기울기가 약간 차이를 보인다. 이것은 Au 시료 두께의 불균일 등에 의한 효과로 이해할 수 있다.

그림 2에서 1000 ~ 1500 채널의 영역이 Au에 의해서 산란된 탄소의 스펙트럼이고, 200 채널 이하의 Al backing과 검출계통의 noise에 의한 스펙트럼이다. SIMNRA의 두께 분석 결과는 $206.7 \pm 1.0 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 로 제작사에서 제시한 값, $200.4 \pm 10.0 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ [10]와 3% 정도의 차이를 보인다. Au 표준 박막 시료의 분석 결과 RBS 분석법의 타당성을 확인하였고, 두께가 알려지지 않은 임의의 두께의 시료를 동일한 방법을 이용하여 두께를 측정하였다. 그림 3(a), (b)는 각각 Ag, Cu 시료에 대한 RBS 스펙트럼이다. 두 스펙트럼에서 후방 산란된 탄소 이온은 모두 피크로 나타나고 있다. 각 시료의 두께는 Au의 두께 측정 방법과 동일하게 구하였으며, 그 결과는 각각 54.6 ± 0.4 , $52.4 \pm 0.5 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 로 분석되었다. 표 1은 각각의 두께 측정 결과를 정리한 것이다. Au 표준 시료의 경우에는 제작사에서 제시한 시료의 두께를 표시하였다.

표준 시료를 이용하여 이온빔 분석 장치의 건전성을 확인하기 위해서는 입사 이온빔 에너지와 빔크기의 안정성, 표적-검출기 배치의 재현성, 시료 두께의 균일성, 스펙트럼 분석 방법의 타당성 등이 요구된다. 현재의 분석 장치는 에너지와 빔크기의 안정성은 가속기 자체의 성능과 관련되어 있고, 표적-검출기의 배치는 검출기의 자동 이송 장치를 이용하여 정밀한 각도 설정을 보장하였

다. SIMNRA 자체의 분석 algorithm과 사용한 각종 단면적 자료가 기존의 분석법을 그대로 따르고, 표준 시료 분석 실험 결과로 타당한 결과값을 얻을 수 있었으며, 결과적으로는 본 실험에서의 이온빔 분석 방법의 신뢰성을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

SNU-AMS 가속기의 다목적 빔라인에 구성된 이온빔 분석용 표적함에서 탄소 이온빔을 이용하여 금속 박막 시료의 두께를 측정하였다. Au 표준 시료에 대해 측정된 두께는 표준값과 3% 이내로 일치하였다. 동일한 방법으로 미지의 Ag, Cu 박막 시료의 두께를 정밀하게 측정할 수 있었다. 결론적으로 가속기에 설치된 이온빔 분석용 표적함의 건전성과 RBS 분석 방법론의 타당성을 확인할 수 있었다.

참고문헌

1. 김석권, 김인중, 선광민, 변수현, 최희동, 2001 춘계학술발표회 논문집, 한국원자력학회.
2. 김석권, 김인중, 선광민, 변수현, 최희동, 2001 추계학술발표회 논문집, 한국원자력학회.
3. "http://www.rzg.mpg.de/~mam/", SIMNRA 5.0 (April 2002), M. Mayer, Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Boltzmannstr. 2, D-85748 Garching, GERMANY, 2002.
4. 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.
5. M. Mayer, Nucl. Instr. and Meth. B194 (2002) 177-186.
6. H.H. Andersen, J.F. Ziegler, "Hydrogen - stopping powers and ranges in all elements, in: The Stopping and Ranges of Ions in Matter", Vol. 3, Pergamon Press, New York, 1977.
7. J.F. Ziegler, "Helium - stopping powers and ranges in all elements, in: The Stopping and Ranges of Ions in Matter", Vol. 4, Pergamon Press, New York, 1977.
8. J.F. Ziegler, J.P. Biersack, U. Littmark, "The stopping and range of ions in solids, in: The Stopping and Ranges of Ions in Matter", Vol. 1, Pergamon Press, New York, 1985.
9. M. Mayer, "SIMNRA User's Guide", Ch. 4, Technical Report IPP 9/113, Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching, GERMANY, 1997.
10. MICROMATTER Co., 491 Harborview Lane, P.O. Box 123, Deer Harbor, WA 98243-0123, U.S.A.

Table 1. The measured and certified thickness of samples and backing materials.

Sample	Thickness [$\mu\text{g}/\text{cm}^2$]		Backing materials	etc.
	Certification	Measurement		
Au	200.4 ± 10.0	206.7 ± 1.0	20 μm Al	Fig. 2
Ag	-	54.6 ± 0.4	Mylar	Fig. 3(a)
Cu	-	52.4 ± 0.5	Mylar	Fig. 3(b)

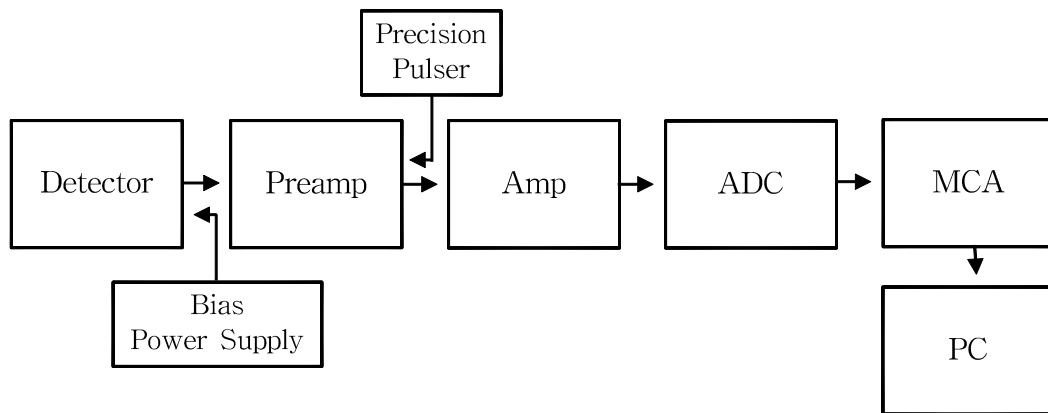


Fig. 1. Block diagram of electronics.

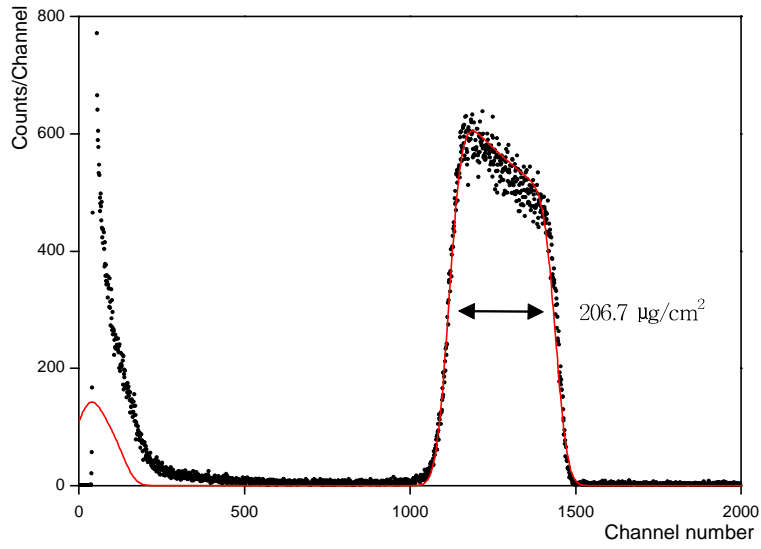


Fig. 2. Carbon backscattering spectrum at the angle of 160° obtained by using the PIPS detector. [200.4 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ Au foil on the 20 μm Al backing foil]

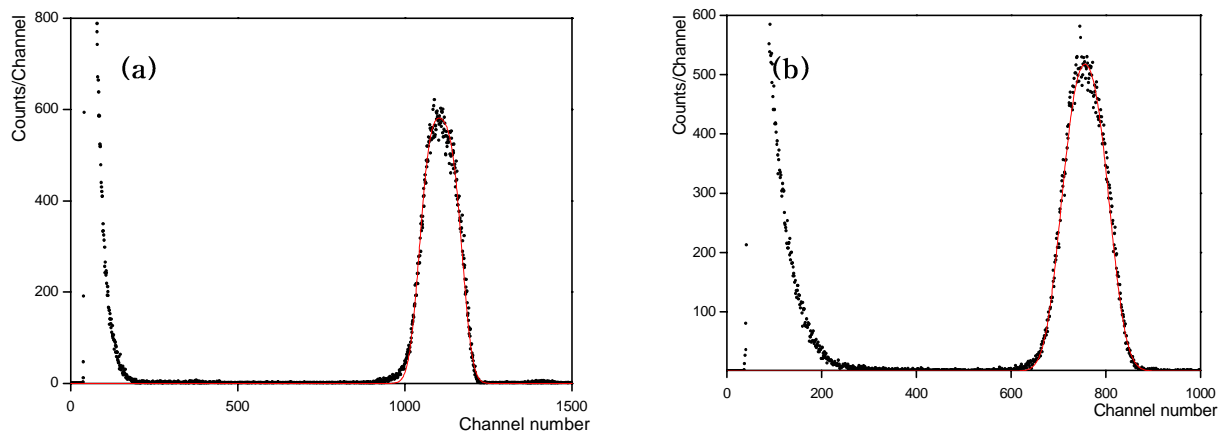


Fig. 3. Carbon backscattering spectra at the angle of 160° obtained by using the PIPS detector. [Ag (a) and Cu (b) foil on the mylar backing foil]