



# 박막의 실시간 두께측정을 위한 XRF 장치의 제작 및 Al/metal과 Au/metal계의 특성

김 성 수\*

## Fabrication of XRF Device for Real Time Thickness Measurement of Thin Film and Characteristics of Al/metal and Au/metal System

Sung-Soo Kim\*

### 요 약

박막제작 공정에서 실시간으로 박막의 두께를 측정하기 위하여 XRF 장치를 구성하고, Al/metal 계와 Au/metal 계의 특성을 조사하였다. 네가지 종류의 금속( $^{26}\text{Fe}$ ,  $^{27}\text{Co}$ ,  $^{28}\text{Ni}$ ,  $^{29}\text{Cu}$ ) 기판 위에 Al 과 Au 박막의 두께를 변화시키면서 박막물질과 기판물질의 방출선 강도변화를 측정하였다. Au  $L_{\alpha}$ -선은 두께가 증가함에 따라 일정한 추세를 가지고 증가함을 확인하였지만 강도가 약해서 두께측정용으로 사용하기에는 부적합한 것으로 나타났다. 반면 기판물질의  $K_{\alpha}$ -선 강도는 박막의 두께가 증가함에 따라 지수함수적으로 감소함을 보였고, 이 데이터로부터 구한 적합함수(fitting function)는 실험결과와 매우 잘 일치하였다. 따라서 이 적합함수를 이용하면 미지박막의 두께를 측정하는데 응용할 수 있음을 확인하였다.

### Abstract

XRF devices were constructed to measure the thickness of thin film in real time during the thin film deposition process and the characteristics of Al/metal and Au/metal system were investigated. On four metal substrates( $^{26}\text{Fe}$ ,  $^{27}\text{Co}$ ,  $^{28}\text{Ni}$ ,  $^{29}\text{Cu}$ ), the intensity of the emission line from the film and the substrate material was measured according to the thickness of the film, respectively. For the Au/metal systems, it was found that the intensity of the Au  $L_{\alpha}$ -line increased as the thickness of film increase, but the intensity was too weak to be used for thickness measurement of thin film. On the other hand, The intensity of  $K_{\alpha}$ -line from the substrate material was shown to decrease exponentially as the thickness of thin film increase, and the fitting function obtained from this data was very well matched with our experimental results. Therefore, it was confirmed that this fitting function can be applied to measure the thickness of the thin film.

### Keywords

thin film, thickness measurement, x-ray fluorescence, XRF, real time, nondestructive testing

\* 목원대학교 지식재산학과  
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1638-5526>

· Received: Jul. 04, 2019, Revised: Aug. 13, 2019, Accepted: Aug. 16, 2019  
· Corresponding Author: Sung Soo Kim  
Dept. of Intellectual Property, Mockwon University  
Korea,  
Tel.: 042+829-7701, Email : [sskim@mokwon.ac.kr](mailto:sskim@mokwon.ac.kr)

## I. 서 론

박막제조공정에서 박막의 두께를 제어하는 것은 매우 중요하고, 두께를 제어하기 위해서는 진공챔버 내에서(In-situ) 실시간(Real time)으로 두께를 측정할 수 있는 기술이 필요하다. 그래서 박막의 두께나 박막물질의 성분에 따라 다양한 방법의 두께 측정기술들이 제시되고 있다.

XRF(X-Ray Fluorescence, X선 형광분석법) 장치는 비파괴적으로 정성분석과 정량분석을 할 수 있어 폭넓게 응용되고 있다[1]-[3]. 또한 진공챔버 내에 설치가능하고 측정시간이 짧다는 장점이 있다. 따라서 이 방법을 박막제조공정에서 박막의 두께측정에 응용한다면, 수  $\mu\text{m}$ 에서 수백  $\mu\text{m}$  영역에서, 진공 챔버 내에서, 실시간으로, 비파괴적이면서, 수십초 이내의 빠른 시간에 두께를 측정할 수 있을 것으로 본다. 챔버 내에서 박막의 두께를 측정하기 위해서는, x-선관을 챔버 내에 설치해야 하기 때문에 x-선관의 크기는 작을수록 좋다.

초소형 투과양극형 x-선관은 1977년 미국의 David J Haas에 의해 처음 개발에 처음 개발되었다 [4][5]. 정전기 제거용 또는 PP필름 등의 두께 측정용으로 10kV용 투과 양극형 W-표적관(Target tube)[6]과 Ag-표적관[7]이 개발되었고, 휴대용 XRF 장치에 사용할 수 있는 40kV용 W-표적관과 Rh-표적관도 개발되었다[8]. 아울러 40kV용 x-선관을 이용하여 XRF 장치를 구성하고, 순금속(Pure metal)에 대한 x-ray 형광특성[9] 및 Cu 합금계열 분석을 보고한 바도 있다[10].

본 논문에서는 XRF를 박막제조공정에서 박막의 두께 측정에 응용하기 위한 기초연구를 진행하였다. 박막의 두께 변화에 따른 x-선의 형광특성 및 강도 변화를 조사하고, 진공챔버 내에서 실시간으로 두께를 측정할 수 있는지에 대한 가능성을 검토하였다

## II. 실험장치의 구성

실험장치는 X-선원(X-선관과 전원), X-선 검출장치(검출기와 전원 및 데이터 분석기), 그리고 샘플 홀더(Sample holder) 크게 3개의 모듈로 구성하였다.

X-선관은 VSI(Vacuum Science Instrument, 한국)사의 W-target 관과 전원을 사용하였고, X-선 검출기는 AMTEK(미국)사의 XR-100CR ( $25\text{mm}^2 \times 500\mu\text{m}$ ) Si-PIN 검출기를 사용하였고, 데이터의 분석은 동 회사의 MCA8000A 및 PX4 power supply를 사용하였다. 샘플홀더는 향후의 이용을 위해 전후, 좌우, 상하이동, 즉 3축 이동(3-axis movement)이 가능하도록 제작하였다. X-선관과 검출기 사이의 각도는 조절이 가능하도록 제작하였고, 본 실험에서는 60도의 각에서 측정하였다. 시료와 검출기, 시료와 x-선관까지의 거리는 약 50mm를 유지하였다.

박막의 증착은 진공 중에서 이루어지기 때문에 XRF 장치도 진공 중에 측정해야 하지만, 여기서는 장치의 특성을 조사하기 위한 것이기 때문에 대기 중에서 측정하였다. 단, X-선관과 AMREK 사의 검출기는 진공챔버에 부착이 가능한 진공밀폐용 제품을 사용하였다.

박막의 두께에 따른 XRF 방출선의 변화를 관찰하기 위하여, 기판물질로는  $^{26}\text{Fe}$ ,  $^{27}\text{Co}$ ,  $^{28}\text{Ni}$ ,  $^{29}\text{Cu}$  (Nilaco사, 4N)를 사용하였고, 박막은 Al과 Au를 사용하였다. 박막의 두께조절은 16 $\mu\text{m}$  두께의 알루미늄 호일과, 1 $\mu\text{m}$ 의 금박을 여러 장 겹쳐서 사용하였고, Al 박막은 32 $\mu\text{m}$ 간격, Au 박막은 4 $\mu\text{m}$ 간격으로 측정하였다. 모든 실험과정에서 X-선관에 걸어준 관전압은 25kV, 관전류는 32 $\mu\text{A}$ 로 하였고, 측정시간은 60초로 고정하여 측정하였다.

## III. 실험결과 및 고찰

### 3.1 순금속의 측정

그림 1은 본 장치로 측정한 순금속  $^{28}\text{Ni}$ 의 XRF 스펙트럼으로, 전형적인 K-선(K-emission line)의 모습이다.  $K_{\alpha}$ -선과  $K_{\beta}$ -선은 날카롭게 분리되어 나타났지만 강도는 크게 차이가 난다. 이 강도의 차이는 원자 내 궤도전자의 전이확률(Transition probability)과 관계되어 있다. 방출선(Emission line)은 궤도 전자의 전이과정에서 방출되고, K-선의 전이확률 비는

$$K_{\alpha 1} : K_{\alpha 2} : K_{\beta 1} = 100 : 50 : 23 \quad (1)$$

이다[11].  $^{28}\text{Ni}$ 의 경우 방출선의 에너지는 각각  $K_{\alpha 1}=7.478$ ,  $K_{\alpha 2}=7.461$ ,  $K_{\beta 1}=8.265\text{keV}$ 이기 때문에 그림 1에서  $K_{\alpha}$ 선은  $K_{\alpha 1}$ 과  $K_{\alpha 2}$ 이 겹쳐서 나타났음을 알 수 있고,  $K_{\alpha}$ -선과  $K_{\beta}$ -선의 강도차이는 식 (1)에 따른 전이확률의 차이 때문에 나타난다.

그림 1의 작은 상자 속은  $K_{\alpha}$ -선의 분해능을 확인하기 위하여 확대한 것으로 본 장치에서  $K_{\alpha}$ 선의 FWHM은 180eV인 것으로 확인되었다.

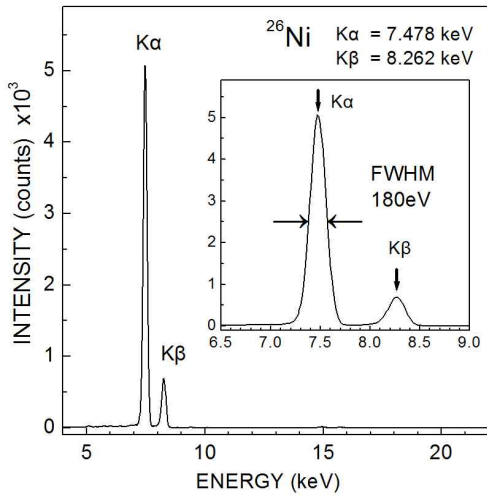


그림 1.  $^{28}\text{Ni}$  기판으로부터 방출된 XRF 스펙트럼  
Fig. 1. XRF spectrum emitted from substrate  $^{28}\text{Ni}$

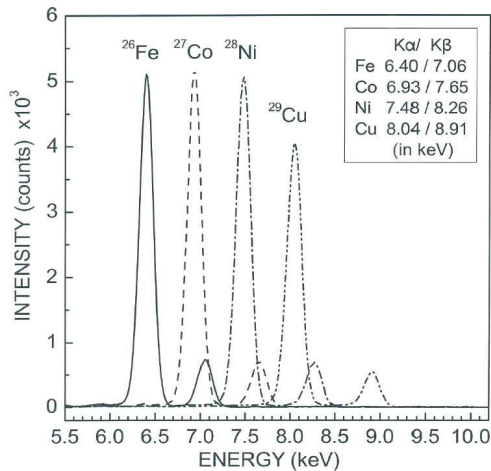


그림 2. 여러가지 기판으로부터 방출된 XRF 스펙트럼  
Fig. 2. XRF spectrum emitted from various substrates

그림 2는  $^{26}\text{Fe}$ ,  $^{27}\text{Co}$ ,  $^{28}\text{Ni}$ ,  $^{29}\text{Cu}$  순금속의 XRF 스펙트럼을 함께 보인 것이다. 각 원자의  $K_{\alpha}$ -선 간격은 대략 500eV정도인 반면,  $^{28}\text{Ni}$   $K_{\alpha}$ -선의 FWHM은 약 180eV이기 때문에 각 원소의 방출선은 잘 분리되어서 측정됨을 볼 수 있다. 따라서 본 장치는 각각의 원소를 구분할 수 있을 만큼 분해능이 충분히 좋음을 확인할 수 있다.

### 3.2 Al/metal 계의 측정

박막의 두께에 따라서 XRF 스펙트럼의 변화를 살펴보기 위하여, 순금속  $^{26}\text{Fe}$ ,  $^{27}\text{Co}$ ,  $^{28}\text{Ni}$ ,  $^{29}\text{Cu}$  기판위에 Al 박막의 두께를 변화시키면서 측정하였다. 그림 3은 각각 Co 기판 위에 Al 박막의 두께를 32 $\mu\text{m}$  간격으로 160 $\mu\text{m}$ 까지 측정한 것이다. Al K-선의 에너지는 각각  $K_{\alpha 1}=1.4867$ ,  $K_{\alpha 2}=1.4863$ ,  $K_{\beta}=1.557\text{keV}$ 이고, 이 영역의 에너지는 대기 기체분자와의 충돌과정에서 에너지를 잃어버리거나 흡수되기 때문에 검출기까지 도달하지 못한다. 따라서 대기 중에서는 Al K-선은 검출할 수가 없다[12].

반면 Co 원자의 경우  $K_{\alpha 1}=6.930$ ,  $K_{\alpha 2}=6.915$ ,  $K_{\beta}=7.649\text{keV}$ 로써, 대기기체분자를 통과할 만큼 에너지가 크기 때문에, 그림 3에서 보는 바와 같이 Co K-선은 대기 중에서 충분히 검출이 되고, 검출 강도는 Al 박막이 두꺼워짐에 따라 점점 감소하고 있음을 볼 수 있다.

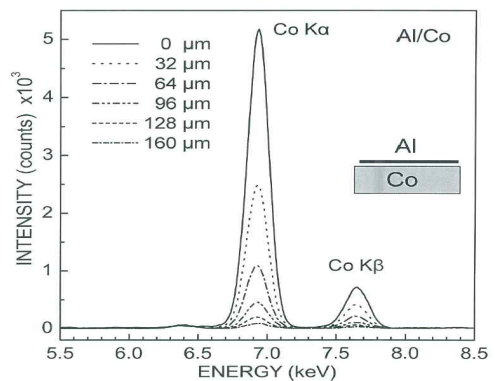


그림 3. Al/Co 계에서 Al 박막의 두께에 따른 XRF 스펙트럼

Fig. 3. XRF spectrum according to the thickness of Al film in Al/Co system

이것은 Co 기판원자에서 나온 방출선이 Al 박막층을 통과하면서 Al 원자와 충돌하여 에너지가 소멸하기 때문이고, Al 박막의 두께가 두꺼워질수록 충돌확률도 높아지기 때문에 Al 박막의 두께가 증가할수록 Co K-선의 강도는 점점 감소한다. 그림 3의 결과는 이러한 예상과 잘 일치한다.

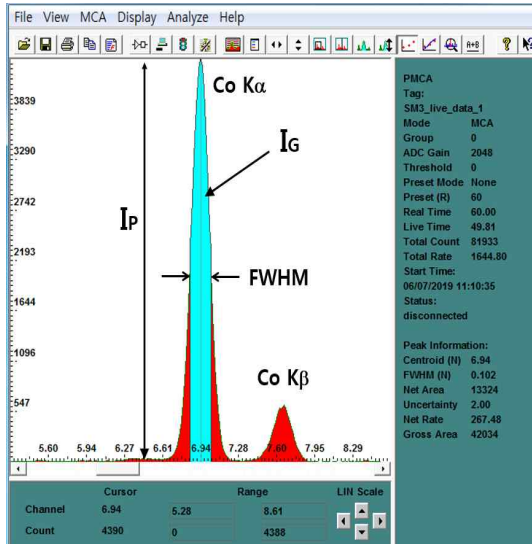


그림 4. 순금속 Co의 MCA(Multi-Channel Analyzer) 스펙트럼

Fig. 4. MCA(Multi-Channel Analyzer) Spectrum for pure metal Co

그림 4는 순금속 Co의 XRF 스펙트럼을 특정한 MCA(Multi-Channel Analyzer) 화면이다. Al 박막의 두께에 따른 방출선의 강도와의 관계를 찾아내기 위하여, XRF 스펙트럼 상에서 Co K<sub>α</sub>-선의 최대강도(Peak Intensity)를 I<sub>P</sub>, FWHM 이내에서 총강도(Gross Intensity)를 I<sub>G</sub>로 두고 박막의 두께에 따른 강도의 변화를 관찰하였다.

그림 5는 Al 박막의 두께에 따른 I<sub>P</sub>와 I<sub>G</sub>를 비교한 것으로, 왼쪽 축은 I<sub>G</sub>, 오른쪽 축은 I<sub>P</sub>를 나타낸다. I<sub>G</sub>는 I<sub>P</sub>의 약 10배 정도가 되지만 두께에 따른 강도의 변화는 거의 동일함을 알 수 있다. 이 결과로부터 박막의 두께에 따른 방출선의 강도변화를 측정할 때 I<sub>P</sub>를 사용하든 I<sub>G</sub>를 사용하든 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 그러나 여기서는 신뢰도를 높이기 위하여, I<sub>P</sub>와 I<sub>G</sub>를 규격화(Normalization)한 후 두 값을 평균하여 사용하였다. 즉, 두께에 따른 강도를 순금속일 때의 강도로 나누어주면, 순금속일 때의 강도는 1이 되고 두께에 따른 상대적 강도, 즉 규격화 강도를 계산할 수 있다.

그림 6에서 등근점(Filled circle)은 I<sub>P</sub>와 I<sub>G</sub>를 각각 규격화하여 평균한 규격화 강도이고, 점선은 이 값들을 이용하여 적합함수(Fitting function)를 구한 것으로, 적합함수는 다음과 같이 지수함수적으로 감소하였다.

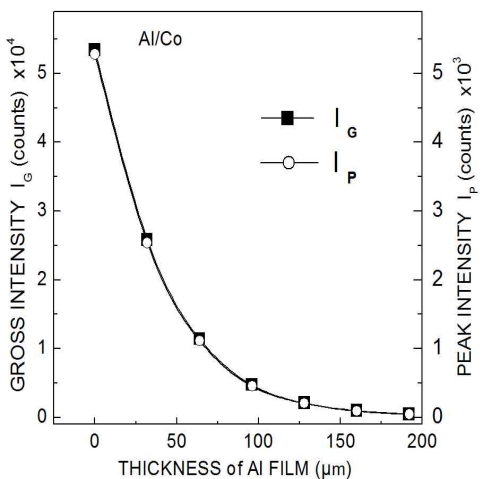


그림 5. Al/Co 계에서 Al 박막의 두께에 따른 Co K-선의 강도 비교.

Fig. 5. Comparison of the intensity of Co K-line according to the thickness of Al film in Al/Co system.

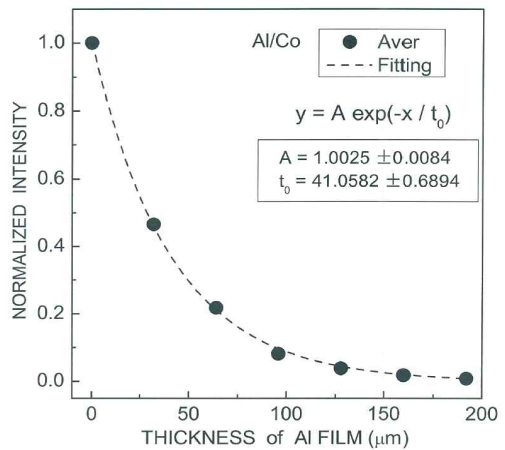


그림 6. I<sub>P</sub>와 I<sub>G</sub>로부터 계산한 규격화 강도와 적합함수의 비교

Fig. 6. Comparison of the fitting function with the normalized intensity calculated from I<sub>P</sub> and I<sub>G</sub>

$$y = A \exp(-x/t_0) \quad (2)$$

여기서  $A=1.0025$ ,  $t_0=41.0582$ 이고  $x$ 는  $Al$  박막의 두께이다. 그림 6에서 볼 수 있듯이 박막의 두께에 따른 강도변화는 적합함수가 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

$Co$  기판에서 한 과정과 동일하게,  $^{26}Fe$ ,  $^{28}Ni$ ,  $^{29}Cu$  기판에 대하여도  $Al$  박막의 두께에 따른  $I_p$ 와  $I_C$ 를 측정 후 규격화하여 적합함수를 찾아내었다. 그림 7은 이들 시료에 대한 적합함수를 모두 그린 것으로 기판의 물질에 따라서 일정한 추세를 가지고 변함을 알 수 있다. 네 가지 기판에 대하여 적합함수는 모두 동일하게 지수함수의 형태를 가지지만 상수 값은 기판에 따라 각각 다르게 나타났고, 상수 값들은 표 1에서 정리하였다.

표 1.  $Al/metal$  계에서 기판물질에 따른 적합함수의 상수  
Table 1. Constant values of the fitting function according to substrate materials in the  $Al/metal$  system

	$A$	$t_0$
$^{26}Fe$	0.9982	35.2660
$^{27}Co$	1.0025	41.0582
$^{28}Ni$	1.0082	50.5239
$^{29}Cu$	1.0103	60.2462

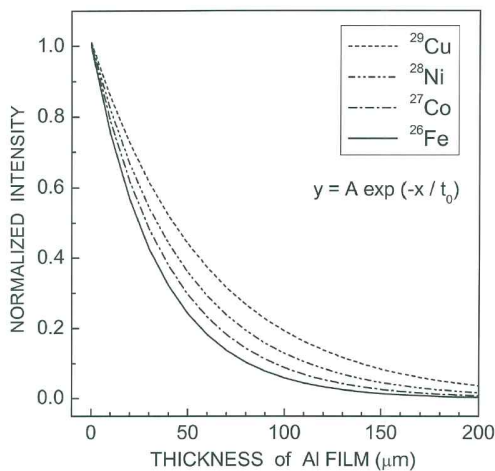


그림 7.  $Al/metal$  계에서 기판물질에 따른 적합함수  
Fig. 7. Fitting functions according to substrate materials in  $Al/metal$  system

그림 7에서  $Al$  박막의 두께가 같아도 기판원자의 질량이 클수록 강도가 더 크게 나옴을 볼 수 있다. 이것은 기판원자에서 나온 XRF 방출선이 박막의  $Al$  원자와 충돌할 때 산란단면적과 관계되어 있다. 즉, 기판원자의 질량이 클수록 방출선의 에너지가 커지고, 에너지가 커질수록  $Al$  원자와 충돌할 때 산란단면적이 작아진다. 산란단면적이 작으면  $Al$  박막 층을 투과할 확률이 높아지기 때문에 측정되는 강도는 더 크게 되는데, 그림 7에 나타난 결과와 잘 일치한다.

### 3.3 $Au/metal$ 계의 측정

대기 중에서는  $Al$  원자로부터 나오는 방출 선을 검출할 수 없기 때문에, 대기 중에서도 방출 선을 관찰할 수 있는  $Au$  박막에 대하여 동일한 실험을 하였다.  $Au$   $L$ -선은 각각  $L_{\alpha 1}=9.713$ ,  $L_{\alpha 2}=9.628$ ,  $L_{\beta}=11.442KeV$ 이므로 대기 중에서 관찰가능하고, 기판시료는  $Al/metal$ 계와 동일하게  $^{26}Fe$ ,  $^{27}Co$ ,  $^{28}Ni$ ,  $^{29}Cu$ 를 사용하였다.

그림 8은  $Fe$  기판위에  $Au$  박막의 두께를 변화시키면서 측정한 XRF 스펙트럼으로, 상자 안의 작은 상자는  $Au$   $L$ -선의 강도가 매우 약하기 때문에  $Au$ -방출선의 에너지 영역과 강도를 확대하여 그린 것이다.  $Au$  박막의 두께는  $4\mu m$  간격으로 측정하였다.

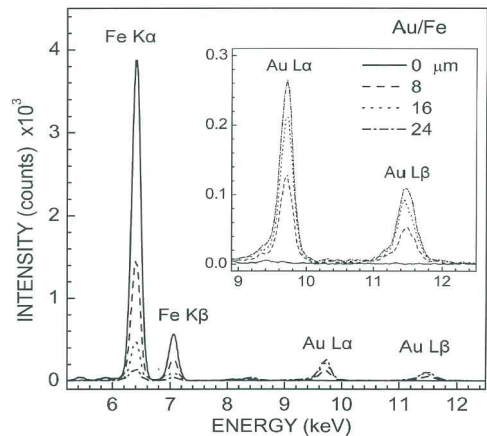


그림 8.  $Au/Fe$  계에서  $Au$  박막의 두께에 따른 XRF 스펙트럼  
Fig. 8. XRF spectrum according to the thickness of  $Au$  film in  $Au/Fe$  system

그림 8에서 Fe 원자에 의한 방출선의 에너지는 각각  $K_{\alpha 1} = 6.404$ ,  $K_{\alpha 2} = 6.391$ ,  $K_{\beta} = 7.058$ keV이므로,  $K_{\alpha 1}$ 와  $K_{\alpha 2}$ 가 겹쳐져서 6.4keV 근처에서 강한  $K_{\alpha}$  선을 볼 수 있고, 7.05keV 근처에서  $K_{\beta}$ -선을 확인할 수 있다.

Au K-선은 각각  $K_{\alpha 1} = 68.804$ ,  $K_{\alpha 2} = 66.989$ ,  $K_{\beta} = 77.984$ keV이므로, 본 장치에서 사용한 전자선의 에너지 25keV보다 크기 때문에 방출되지 않는다.

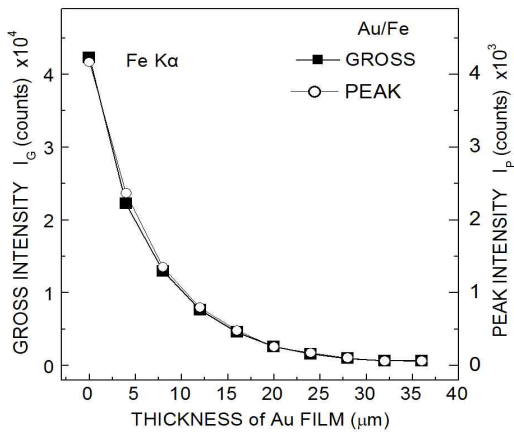


그림 9. Au/Fe 계에서 Au 박막의 두께에 따른 Fe K-선의 강도 비교.

Fig. 9. Comparison of the intensity of Fe K-line according to the thickness of Au film in Au/Fe system.

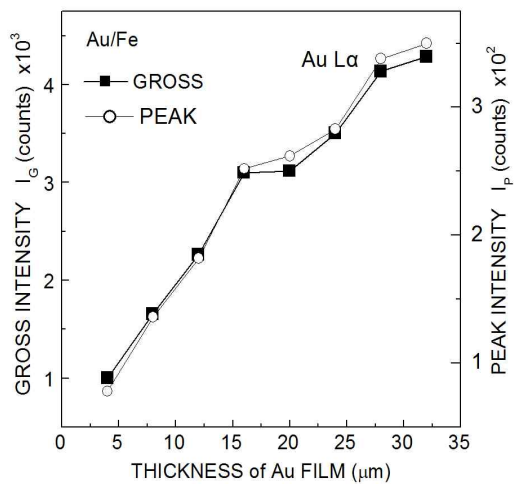


그림 10. Au/Fe 계에서 Au 박막의 두께에 따른 Au L-선의 강도 비교.

Fig. 10. Comparison of the intensity of Au L-line according to the thickness of Au film in Au/Fe system.

반면 Au L-선은 각각  $L_{\alpha 1} = 9.713$ ,  $L_{\alpha 2} = 9.628$ ,  $L_{\beta} = 11.442$ keV이므로, 9.7keV 근처에서는  $L_{\alpha}$ -선이 11.4keV 근처에서는  $L_{\beta}$ -선이 나타나 있음을 확인할 수 있다. L-선은 K-선에 비해 전이확률이 매우 작아서, Au L-선이 Fe K-선에 비해 매우 약하게 나타났기 때문에 작은 상자 속에 확대하여 그렸다. Au 박막의 두께가 두꺼워짐에 따라 기관인 Fe K-선의 강도는 크게 감소하는 반면, Au L-선은 강도가 약하기는 하지만 증가하는 경향을 뚜렷이 보이고 있다.

그림 9와 그림 10은 Al/metal 계에서와 같은 방법(그림 5)으로, Au 박막의 두께에 따른 최대강도  $I_p$ 와 총강도  $I_g$ 를 측정하여 겹쳐 그린 것으로, 그림 9는 Fe K-선, 그림 10은 Au L-선의 강도를 보인 것이다. Au 박막의 두께가 증가함에 따라 Fe의 강도는 감소하는 반면, Au 강도는 증가하고 있어 예상과 일치한다. Fe K-선의 경우, Al/metal 계에서 본 바와 같이,  $I_p$ 와  $I_g$ 의 절대강도는 크게 차이가 나지만 박막의 두께에 따른 강도의 변화는 거의 동일함을 알 수 있다.

반면, Au  $L_{\alpha}$  선의 경우 강도가 증가 추세를 보이는 것은 예상과 일치하지만 추세선에서 다소 벗어나 오차가 있음을 볼 수 있다. 이것은  $L_{\alpha}$ -선의 강도가 매우 약하기 때문에 나타난 측정상의 오차로 생각된다. 기관을  $^{27}Co$ ,  $^{28}Ni$ ,  $^{29}Cu$  으로 바꾸었을 때, Fe 기관에서와 마찬가지로 Au  $L_{\alpha}$  선은 오차가 다소 크게 나타났다. 따라서 L-선을 박막의 두께 측정에 이용하기에는 부적합한 것으로 판단된다.

Au/metal계에서도 기관원자의 K-선을 이용하여 박막의 두께와 K-선 강도와의 관계를 관찰하였다. Al/metal계에서와 같은 방법으로 기관원자 K-선의 최대강도  $I_p$ 와 총강도  $I_g$ 를 규격화하여 두 값을 평균한 후, 적합함수를 구해서 비교하였다.

그림 11은 Au/metal 계에서 각 기관시료에 대한 적합함수를 모두 그린 것으로, Al/metal 계에서와 마찬가지로 기관의 물질에 따라서 일정한 추세를 가지고 변함을 알 수 있다. 네 가지 기관에 대하여 적합함수는 다음과 같고, 기관물질에 따른 상수 값들은 표 2에서 정리하였다.



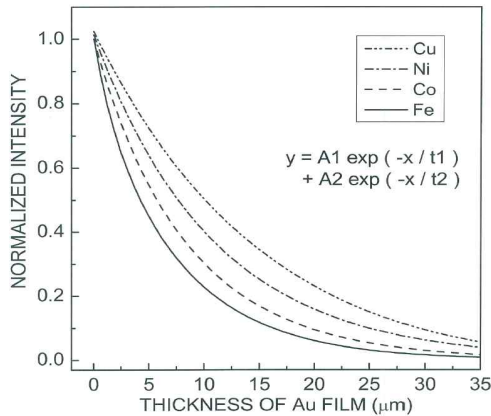


그림 11. Au/metal계에서 기판물질에 따른 적합함수  
Fig. 11. Fitting functions according to substrate materials in Au/metal system

표 2. Au/metal 계에서 기판물질에 따른 적합함수의 상수  
Table 2. Constant values of the fitting function according to substrate materials in the Au/metal system

	$A_1$	$t_1$	$A_2$	$t_2$
$^{26}Fe$	0.8482	7.6071	0.1518	1.7284
$^{27}Co$	0.9204	8.7964	0.0797	4.1254
$^{28}Ni$	0.9387	10.7682	0.0746	11.206
$^{29}Cu$	1.0783	15.0034	0.18816	43.672

$$y = A_1 \exp(-x/t_1) + A_2 \exp(-x/t_2) \quad (3)$$

그림 7과 그림 11을 비교해보면, Al/metal 계의 경우, 적합함수는 1차 지수함수의 형태였지만 Au/metal 계의 경우는 2차 지수함수가 측정값과 더 잘 일치함을 알 수 있었다. 이것은 두께에 따른 강도의 감소율과 관계되어 있는 것으로 생각된다. Au/metal 계의 경우 Au 박막의 두께가 35 $\mu$ m 정도에서 기판물질의 강도가 거의 사라지지만, Al/metal 계의 경우, 박막의 두께가 200 $\mu$ m 정도에서 기판물질의 강도가 사라진다. 즉 박막의 두께가 증가함에 따라 Au 박막의 경우가 훨씬 더 급격하게 강도가 감소한다.

이것도 기판물질로부터 나온 X-선 방출선과 박막 원자와의 산란단면적과 관계되어 있다. 원자의 질량이 클수록 산란단면적이 커져서 박막을 통과할 확률이 감소한다. Au는 Al에 비해 질량이 월등히 무겁기 때문에, Au 박막의 두께가 증가함에 따라 검

출강도는 급격히 떨어진다.

실제 측정에서는 적합함수가 1차 지수함수이든 2차 지수함수이든지는 중요하지 않다. 표면 아래 깊은 곳에 있는 원자에서 방출된 x-선이 표면으로 나오는 과정에서 박막원자와 다양한 충돌과정을 거친다. 이 과정에서 매트릭스 효과를 비롯하여 기판원자와 박막원자의 질량에 따라 여러 가지 변수가 존재할 수 있다. 표준시료를 이용하여 적합함수를 구할 경우, 이러한 다양한 변수들이 이미 적합함수에 포함되어 있기 때문에, 표준시료와 동일한 박막/기판을 사용할 경우 그러한 변수들을 고려하지 않아도 된다. 적합함수가 어떤 형태를 갖든 적합함수를 구하기만 하면 박막의 미지두께를 간단히 유추할 수가 있고, 이것이 표준시료를 사용하는 장점이기도 하다.

그림 7과 그림 11에서 보는 바와 같이, 특정한 박막원자 또는 특정한 기판원자에 대하여 박막의 두께에 따른 검출강도가 특정한 함수의 형태를 가진다는 것은 박막의 두께를 측정할 수 있는 가능성이 충분하다는 것을 의미한다. 여기서는 박막물질(Al, Au)의 K-선은 두께측정에 사용하지 못하고 기판물질의 K-선만 이용하였다. 만약 박막 K-선을 검출할 수 있는 물질이라면, 박막의 두께를 더 정확하게 측정할 수 있을 뿐만 아니라, 기판물질의 방출선을 검출하기 어려운 경우에는 박막의 두께를 측정하는데 직접 사용될 수 있다.

#### IV. 결론 및 향후 과제

박막의 두께를 실시간으로 측정하기 위하여 XRF 장치를 구성하고 특성을 조사하였다. 본 장치로 측정된  $^{28}Ni$  시료의 XRF 스펙트럼에서  $K_{\alpha}$ -선의 FWHM은 180eV였고,  $^{26}Fe$ ,  $^{27}Co$ ,  $^{28}Ni$ ,  $^{29}Cu$  원자의  $K_{\alpha}$ -선 에너지 간격은 대략 500eV 정도이기 때문에 주기율표상의 각 원소를 구분할 수 있을 만큼 분해능이 충분히 좋음을 확인할 수 있다.

Al  $K_{\alpha}$ -선은 에너지가 낮아서 대기 중에서는 측정할 수가 없었지만, XRF장치를 진공 중에 설치할 경우는 측정가능하다. Au  $L_{\alpha}$ -선의 강도는 박막의 두께에 따라 뚜렷이 변하는 것은 확인했지만, 강도

가 약해서  $L_{\alpha}$ -선은 박막의 두께측정용으로 사용하기에는 부적합한 것으로 판단된다.

Al/metal 계와 Au/metal 계 둘 다에서, 기관물질으로부터 나온  $K_{\alpha}$ -선의 강도가 지수함수적으로 감소함을 알 수 있었고, 측정결과를 규격화하여 적합함수를 구했다. Al/metal 계의 경우 적합함수는 1차 지수함수인 반면, Au/metal 계에서는 2차 지수함수로 나타났는데, 이것은 박막 두께에 따른 감소율의 차이 때문에 나타난 결과로써, 두 경우 모두 각각의 측정값들은 적합함수에서 거의 벗어나지 않고 매우 잘 일치한다. 또한 기관원자의 질량의 질량이 클수록 강도는 커지고, 박막원자의 질량이 커지면 산란 단면적의 차이로 인해 강도가 줄어들게 되는데, 그림 7과 그림 11에서 나타난 결과와 잘 일치한다. 따라서 표준시료로부터 구한 적합함수를 알고 있을 경우, 미지두께의 박막에서 측정된 강도와 적합함수를 비교하여 정확한 두께를 산출해 낼 수 있다.

XRF는 비파괴적으로 측정할 수 있고, X-선원과 검출기를 진공챔버 속에 장착할 수 있어서 시료를 꺼내지 않고 측정할 수 있고, 측정시간이 수십초 이내로 짧아서 실시간으로 측정할 수 있기 때문에, 박막제조공정에서 두께측정용으로 응용 가능성을 확인하였다.

본 논문에서는 박막으로부터 방출된 x-선을 두께 측정에 반영하지를 못했는데, 박막의  $K_{\alpha}$ -선을 측정할 수 있으면 두께를 좀 더 정확하게 측정할 수 있을 것으로 생각된다. 향후에는 박막의  $K_{\alpha}$ -선을 측정할 수 있는 물질의 경우와 기관의 x-선을 측정하기 어려운 물질의 경우에 대하여 실험하고 문제점을 보완할 예정이다.

## References

- [1] H. Ida and J. Kawai, "Analysis of wrapped or cased object by a hand-held X-ray fluorescence spectrometer", *Forensic Science International*, Vol. 151, No. 2-3, pp. 267-272, Jul. 2005.
- [2] H. Ida, T. S. egawa, S. Tohyama, and J. Kawaia, "Analysis of painted steel by a hand-held X-ray fluorescence spectrometer", *Spectrochimica Acta, Part B*, Vol. 60, No. 2, pp. 249-252, Feb. 2005.
- [3] R. Figi., O. Nagela, M. Tuchschnida, P. Lienemanna, U. Gfeller, and N. Bukowieckia, "Quantitative analysis of heavy metals in automotive brake linings: A comparison between wet-chemistry based analysis and in-situ screening with a handheld X-ray fluorescence spectrometer", *Analytica Chimica Acta*, Vol. 676, No. 1-2, pp. 46-52, Aug. 2010.
- [4] United States Patent 4,034,251 July 5, 1977.
- [5] G. Svehla, "Comprehensive Analytical Chemistry, Volume XXIV Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Analysis", ELSEVIER, Amsterdam, pp. 70-71, 1989.
- [6] S. S. Kim and D. Y. Kim, "Development and Characteristics of the Soft x-ray transmission W-target tube" *Journal of Korean Vacuum Society*, Vol. 16, No. 4, pp. 305-311, Jul. 2007.
- [7] S. S. Kim and D. Y. Kim, "Development and its Characteristics of the 40kV x-ray transmission anode target tube" *Journal of Korean Vacuum Society*, Vol. 17, No. 3, pp. 234-239, May 2008.
- [8] S. S. Kim and D. Y. Kim, "Development and Characteristics of the x-ray transmission tube for the thickness measurement of film", *Journal of Korean Vacuum Society*, Vol. 17, No. 3, pp. 240-246, May 2008.
- [9] S. S. Kim and D. Y. Kim, "Characteristics of the X-ray Fluorescence by the 40kV transmission anode x-ray tube", *Journal of Korean Vacuum Society*, Vol. 17, No. 3, pp. 247-252, May 2008.
- [10] S. S. Kim, "Quantitative Analysis of Cu Alloy Series using Hand Held XRF device", *The Korean Institute of Information Technology*, Vol. 9, No. 11, pp. 89-95. Nov. 2011.
- [11] Comprehensive Analytical Chemistry, Volume XXIV G. Svehla 1989 ELSEVIER p23.
- [12] S. S. Kim, D. S. Ko, Y. S. Lee, and D. Y. Kim, "Study for Enhancement of the Detection Sensitivity in Hand-Held XRF device", *Journal of Korean Vacuum Society*, Vol. 20, No. 6, pp. 409-415, Nov. 2011.



저자소개

김 성 수 (Sung Soo Kim)



1983년 2월 : 울산대학교

물리학과(이학사)

1985년 2월 : 연세대학교

물리학과(이학석사)

1992년 2월 : 연세대학교

물리학과(이학박사)

1992년 9월 ~ 현재 : 목원대학교

교수

관심분야 : 표면분석, RTOF질량분석, X-ray응용기기