

## XPS에 의한 코디에리트의 특성 연구(연구 I)

## (Characterization of Cordierite by XPS (I))

韓 秉 誠\*

(Byoung Sung Han)

## 要 約

비유전율 및 팽창계수가 낮다는 장점을 갖고 있는 코디에리트는 IC 패키지로써 매우 흥미있는 재료이다. 졸겔방법에 의해서 얻어진 코디에리트는 무정형 하얀 가루의 결정으로 이를 약 900°C로 열처리하여, 구운 코디에리트 시료를 만들었다.

XPS에 의해서, 굽기 전후의 코디에리트 시료의 미시적 특성을 연구하였는데, 시료 표면에서는 시료내부의 값들과 비교해 볼때, Mg의 많은 감소와 Al과 Si의 증가를 알 수 있었다. 100Å 이하의 시료 표면에는  $\mu$ -코디에리트 상을 갖는 결정이 존재하고, 시료내부는 적은량의 마그네슘 알루미늄산화물( $MgAl_2O_4$ )가 존재하였다.

한편 코디에리트 표면에서 열처리에 따른 화학적 변화가 없는 것을 알 수 있었다.

## Abstract

The cordierite is of great interest for microelectronic packaging. Its main advantages are low dielectric constant and low thermal expansion. The cordierite precursor obtained by sol-gel synthesis whose sintering temperature is about 900°C is an amorphous and cristal white powder.

Green and fired cordierite samples were studied by XPS for microscopic properties. At the surface the results of XPS show forte diminution of Mg in comparison with its value at volume and the deficit of Mg compensates by augmentation of Al and Si.  $\mu$ -cordierite phase is present near the surface ( $< 100 \text{ \AA}$ ) and small quantities of magnesium aluminate ( $MgAl_2O_4$ ) is present in the bulk.

Sintering of the green cordierite introduces no chemical modification at the surface.

## I. 서 론

세라믹은 반도체의 캡슐 또는 인쇄된 전자회로와 소자들을 연결시켜 주는 기판재료로 전자산업분야에서 매우 오랫동안 이용되어 왔다. 특히 IC의 경우 매우 약한 시그널 전달과 더욱 더 집적화, 소형화 추

세에 들어서면서 새로운 형태의 기판 발달이 요구되었다. 즉 기판위에 서로 다른 수, 능동 소자를 연결시켜 주어 입체적 전도회로를 가능케 하는 다층 세라믹 기판이 필요하게 되었다. 이런 요구에 부응하여 산화물이 기판재료로 사용되게 되었고 이 산화물 기판위에 사진식각법이나 메탈잉크에 의한 인쇄 등에 의하여 전도회로를 형성하고 환원가스 분위기 속에서 상호 열처리하는 방식으로 다층회로를 구성하여 왔다.

\*正會員, 全北大學校 電氣工學科

(Dept. of Electrical Eng., Chonbuk Nat'l Univ.)

接受日字: 1988年 11月 3日

그동안 알루미늄이 주로 이들 기관 재료로 사용되어 왔으나 상호 열처리 온도가 1,400~1,500°C로 높고, 표 1에서 보여주듯 전기적 저항값이 같은 반면 비유전율이 크며, 또한 열에 의한 팽창계수가 코디에리트(Mg<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>10</sub>)보다 크다는 결점을 갖고 있다. 반도체 및 금속 재료의 연구에 크게 이용되고 있는 ESCA(electron spectroscopy for chemical analysis)<sup>(2)</sup> 혹은 XPS(X-ray photoelectron spectroscopy)<sup>(3)</sup>는 약 1cm<sup>2</sup>의 시료 표면을 monoenergetic Al Kα(1486.6eV)나 Mg Kα(1253.6eV) X선 또는 자외선으로 조사하여, 시료 표면으로부터 방출된 전자들에 의하여 얻어진 스펙트럼으로부터, 결합 에너지에 따른 피크의 크기를 측정함으로써, 시료를 구성하고 있는 원소들을 분석한다. 본 실험에서는 코디에리트를 줄겔법에 의하여 합성한 후 XPS를 이용하여 열처리에 따른 특성을 조사함으로써, 다층 IC회로 기관 구성시 금속회로와 코디에리트와의 접촉을 증가시키기 위하여 상호 열처리를 하는데, 이때 일어날 수 있는 제반 현상을 사전 유출키 위한 기본자료를 얻었다.

표 1. 코디에리트와 알루미늄의 비교<sup>(1)</sup>  
Table 1. Comparison of alumina to cordierite.<sup>(1)</sup>

	Dielectric constant	Electric resistivity (10 <sup>-8</sup> Ω*m)	Thermal expansion (10 <sup>-6</sup> /°C)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 99%	10	10 <sup>14</sup>	6
Cordierite	5	10 <sup>14</sup>	2.2

II. 이 론

1. XPS

hν의 에너지를 갖는 전자기선(X선 또는 자외선)이 물체의 표면에 조사되면 물체 표면으로부터 E<sub>k</sub>의 운동에너지를 갖는 전자가 방출된다. 입사한 광자는 조사된 원소의 서로 다른 에너지 준위의 전자를 방출케하는데 이때 이런 여기의 중요 메카니즘은 광전자의 방출이다.

방출된 광전자의 운동에너지와 원자핵과 이들 전자들간의 결합에너지와의 관계를 에너지 보존법칙에 따라 간단하게 표현하면 다음과 같다.

$$h\nu = E_k + E_b \quad (1)$$

hν : 광자의 입사에너지

E<sub>k</sub> : 방출된 전자의 운동에너지

E<sub>b</sub> : 원소안에서 방출된 전자의 결합에너지

여기서 방출된 광전자빔은 단일에너지로, 에너지 분석기를 이용하여 이 광전자의 에너지를 측정함으로써 방출된 전자의 결합에너지를 결정케한다. 이때 결합에너지와 광전자의 수도 어떤 원소를 특정지을 수 있다. 얻어진 스펙트럼의 분석은 표면에 존재하는 원소들을 확인케 할 뿐 아니라 각 스펙트럼의 세기를 비교하므로써 원소량을 결정할 수가 있다.

어떤 원소 A에 대한 스펙트럼의 세기는 시료내 이 원소의 농도와 관계되어지며 식(2)처럼 표현할 수 있다.<sup>(4)</sup>

$$I_A = \sigma_A * J_0 * D(E_A) * L(A) * T(E_A) * \int_0^z N_A(z) * \exp\left(\frac{-z}{\lambda(E_A) \cos \theta}\right) dz \quad (2)$$

σ<sub>A</sub> : 원소 A의 어떤 전자궤도를 광이온화 하기 위한 유효 계수

J<sub>0</sub> : X선 빔의 광유출량

D(E<sub>A</sub>) : 분광기를 통해 전달된 전자의 검출계수

L(A) : 방출된 광전자의 각도에 따른 피크세기의 불균형도

T(E<sub>A</sub>) : 시료 표면과 분광기와의 전달계수

N<sub>A</sub>(z) : 시료 표면으로부터 깊이 z에서의 단위 부피당 A원소의 수

λ(E<sub>A</sub>) : 방출된 전자의 운동에너지에 따른 전자의 평균 자유행정 거리

z : 시료 표면의 직각방향 깊이

θ : 분석에 사용된 방출된 전자의 방출각 (시료 표면에 수직인 방향과의 비)

E<sub>A</sub> : 원소 A로부터 방출된 광전자의 운동 에너지

식(2)는 3부분으로 나누어 생각할 수 있는데, 먼저 σ<sub>A</sub>는 광전자 방출과 연관이 있으며 P<sub>A</sub>(z<sub>A</sub>)는 분광기의 특성에 좌우되고, N<sub>A</sub><sup>eff</sup>(z)는 시료와 관계된다.

$$P_A(z_A) = J_0 * D(E_A) * L(A) * T(E_A)$$

그리고

$$N_A^{eff}(z) = \int_0^z N_A(z) * \exp\left(\frac{-z}{\lambda(E_A) \cos \theta}\right) dz \quad (3)$$

2. 농 도

어떤 시료에 존재하는 A, B 두 원소의 수의 비는

$$\frac{N_A}{N_B} = \frac{I_A/S_A}{I_B/S_B} \quad (4)$$

로 표현되며, 여기서 S<sub>A</sub>, S<sub>B</sub>는 원소에 따른 감도계수로, "Handbook of XPS"<sup>(5)</sup> 안에 수록되어 있다.

식(4)에서 어떤 원소의 농도는 식(5)와 같이 표현된다.

$$C_x = \frac{N_x}{\sum_i N_i} = \frac{I_x/S_x}{\sum_i I_i/S_i} \quad (5)$$

i: 시료 안에 존재하는 모든 원소

### 3. Auger 파라메타

여기를 위해 X선을 사용하는 경우, Auger 전자가 시료로부터 방출되는 것을 1925년 Pierre Auger<sup>(6,7)</sup>가 발견한 이후 XPS 스펙트럼 내에서의 Auger 피크는 표면 연구에 많이 이용되어 왔다. 가장 큰 광전자 피크의 결합에너지와 같은 원소의 Auger 피크의 운동에너지를 안다는 것은 서로 다른 원소끼리의 화학적 결합상태를 정의하고 시료 표면에서의 전하량을 결정하는데 매우 중요한 역할을 하고 있다. Wagner<sup>(6,9)</sup>는 Auger 파라메타를 결정기 위한 매우 적당한 Auger 피크와 광전자 피크의 관계표를 제시하고 있는데 이 Auger 파라메타( $\alpha$ )는 광전자 결합에너지 ( $E_B(i)$ )와 Auger 피크의 운동에너지 [ $E_A(jkl)$ ]의 합으로 식(6)처럼 나타낸다.

$$\alpha = E_B(i) + E_A(jkl) \quad (6)$$

## III. 실험

### 1. 시료

X선회절 실험결과에 따르면 줄겔합성법에 의해서 만들어진 코디에리트는 하얀가루의 무정형 결정으로 비면적(specificarea)이 120~150m<sup>2</sup>/g이었다. 이 가루를 300kg/cm<sup>2</sup>의 압력으로 압축하여 직경 15mm 두께 2mm의 작은 환약모양으로 굽지 않은 코디에리트(green cordierite) 시료를 만들었다.

수분을 함유한 아르곤가스(아르곤 가스가 상온에서 수포속을 통과함으로써 수분을 함유케 함) 분위기에서 이 굽지 않은 코디에리트 시료를 900°C로 열처리하여, 구운 코디에리트(fired cordierite) 시료를 만들었다. 시료제작에 대한 방법은 참고문헌 4, 10, 11에서 자세하게 묘사되었다. 굽기 전후의 이들 시료는 표면이 매우 거칠고, 시료 내부에 작은 구멍이(<math>\mu</math>) 많았다. 한편 위에서 언급한 처리 과정을 통하여 만들어진 시료의 밀도는 이론치(굽지 않은 코디에리트 경우 대략 50%, 구운 코디에리트의 경우는 95%)와 매우 비슷하였으며, 입자들의 평균 크기는 10 $\mu$  이하였다.

### 2. 실험방법

코디에리트의 특성을 결정하기 위하여 원자적인

시각에서 발생하는 여러가지 현상을 Al K $\alpha$  X선원을 장비한 Vacuum Generators사, 모델 3MK-II의 XPS를 사용하여 연구하였다. 특히 이 장비는 부채꼴 모양의 원형분석기(150°)와 전자증폭 검출기로 구성되어 있다. 이온부식 기능을 함께 갖춘 XPS, 원자층( $\approx 30\text{\AA}$ ) 깊이의 표면에서의 원소들의 구성과 결합상태에 대한 정보를 제공해 주는데 이때 시료의 표면 부식은 10<sup>-6</sup>Torr 압력의 아르곤 가스 분위기 속에서, 이온의 에너지는 2KeV, 전류밀도 10 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 으로 시료표면에 수직 방향으로 행하여졌다. 부식율은 0.67 $\text{\AA}/\mu\text{A}\cdot\text{min}$ 이다. 이 방법은 수백  $\text{\AA}$  정도의 범위에서 물질의 화학적 구성의 깊이에 따른 프로필을 얻을 수 있다.

그러나 이온 부식은 때때로 시료표면 상태를 변화시키는 원인이 되며<sup>(11)</sup> 이것은 부식에 의해서 얻어진 프로필을 해석하는데 어려움을 가져오기도 한다. 앞에서 언급한 시료표면의 거칠음도 역시 XPS의 결과 해석에 한계성을 갖게 하며, 특히 깊이에 따른 프로필 해석에는 더 큰 한계성을 갖게 하므로 XPS 방법은 표면분석에 아주 좋은 신뢰도를 갖지는 못한다.<sup>(11)</sup> 이러한 문제점을 보완하기 위하여 본 실험에서는 X선원을 조사하는 방향을 표면에 수직방향(67°)과 사선방향(23°)으로 조사하여 시료표면과, 표면에서 조금 깊이 들어간 곳에서 방출된 전자를 분석하여 신뢰도를 향상시켰다. 이때 각도에 따른 깊이 d는  $d = \lambda \cos \theta$ 로 정의되어지며 여기서  $\lambda$ 는 전자의 평균 자유행정 거리이다.

## IV. 결 과

전자의 결합에너지가 0eV에서 1,000eV 범위에서 얻어진 굽기 전후의 코디에리트의 XPS 스펙트럼에서(그림 1) 각 원소들의 피크 높이를 측정하여 코디에리트를 구성하고 있는 원소들의 농도를 계산하였다. XPS 핸드북에는<sup>(12)</sup> 농도 계산을 위해 각 원소들의 감도계수를 수록하고 있어 Mg2p를 제외하고는 이 값들을 이용하였다. 실제 MgO 산화물의 경우 Mg1s와 Mg2p 피크를 기준하여 양을 계산한 경우 결과치가 같아야 하는데 XPS 핸드북에 수록된 Mg2p의 감도계수( $s=0.07$ ) 이용하는 경우 같은 결과치가 나오지 않는다. MgO에서 Mg1s와 O1s의 피크를 기준하여, 스토키오메트리에 따른 농도 계산에서, Mg와 O의 비가 거의(Mg/O=1) 1에 접근하므로 이를 기초로 하여 본 실험에서는 Mg2p의 감도계수( $s=0.09$ )를 새로이 구하여 사용하였다.

이온부식 전후 굽지않은 코디에리트 표면에 두 방향으로 X선원을 입사하여 얻어진 농도는 표 2와 같

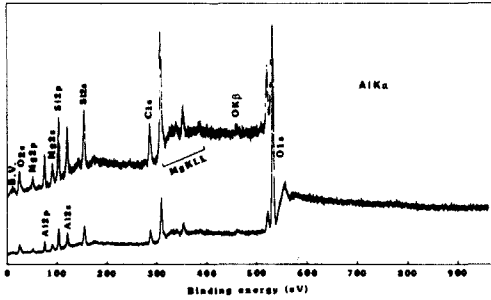


그림 1. 굵지 않은 코디에리트의 XPS 스펙트럼  
Fig. 1. XPS spectrum of green cordierite.

표 2. XPS에 의한 굵지 않은 코디에리트의 원소 농도(%)

Table 2. Elemental concentrations (in atomic percent) of the green cordierite by XPS.

	Before ion sputtering		After ion sputtering	Theoretical stoichiometry
	67°	23°	67°	
Al	15.9	18.2	16.7	13.8
Mg	2.2	1.8	2.9	6.9
Si	21.2	22.1	21.2	17.2
O	60.7	57.9	59.2	62.1

다. 시료내부로부터 Al과 Si 보상과 함께 표면에서는 Mg의 큰 감소가 일어났다. 산소값의 비에 따른 Al, Mg, Si의 농도는 코디에리트의 스토키오메트리 이론값과 일치하지 않았다. 이온부식 후는 Mg의 농도가 증가하나 스토키오메트리의 값보다는 매우 적었다.

표 3은 구운 코디에리트의 농도 값을 나타낸다. Mg의 경우 굵지 않은 코디에리트의 경우(표 2)와 같이 많은 감소가 나타났다. 이온 부식후는 Si은 변화하지 않았으나 Mg과 Al은 증가하였다. 이러한 현상은 다른 시료에서도 발견되었다. 특히 굵기 전후 모두 시료 표면에서 Si은 대략 30% 증가하였고 Al의 경우는 약 30% 감소하였다.

이온부식에 의한 깊이에 따른 농도변화표(그림 2)에서 보면 시료의 깊이 70 Å까지의 표면에서는 Mg의 많은 결핍을 볼 수 있다. 프로필의 끝부분(490Å)에서 산소의 양이 55%로 스토키오메트리 값보다 크게 감소하는데 이러한 감소는 이온부식에 따른 축소

표 3. XPS에 의한 구운 코디에리트의 원소 농도(%)

Table 3. Elemental concentrations (in atomic percent) of the fired cordierite by XPS.

	Before ion sputtering		After ion sputtering	Theoretical stoichiometry
	67°	23°	67°	
Al	12.2	11.8	14.3	13.8
Mg	1.7	1.0	4.2	6.9
Si	26.0	28.6	26.2	17.2
O	60.1	58.6	55.3	62.1

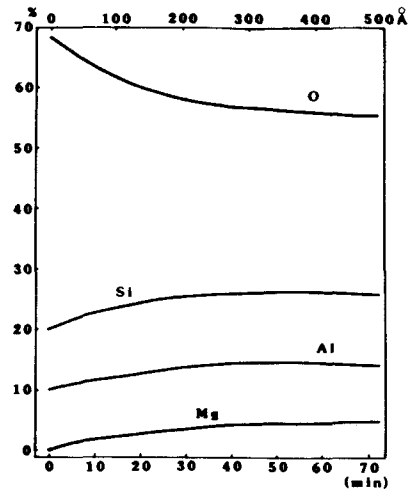


그림 2. 구운 코디에리트의 깊이에 따른 원소 구성  
Fig. 2. Depth profiling of elemental composition (in atomic percent) of fired cordierite.

메카니즘에 의해서라고 생각된다.

산화물과 수산화물(hydroxyde)에서 O1s에 대한 화학적 상태를 표현한 Wagner의 그래프<sup>(11)</sup>를 이용하여 굵기 전후의 코디에리트의 Auger 파라메타를 표시하였다(그림 3). 그림 3에서 보듯 굵기 전후의 코디에리트의 Auger 파라메타가 거의 동일했다. 특히 눈에 띄는 것은 Wagner가 정의한 MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 SiO<sub>2</sub> 산화물 영역의 중심점을 연결한 삼각형(그림 3) 안에 두 코디에리트의 Auger 파라메타가 존재한다는 점이다.

XPS 사용시 전압측정 오차와, 피크의 결합에너지에 비례하는 발생 전자수의 측정 오차등이 발생하

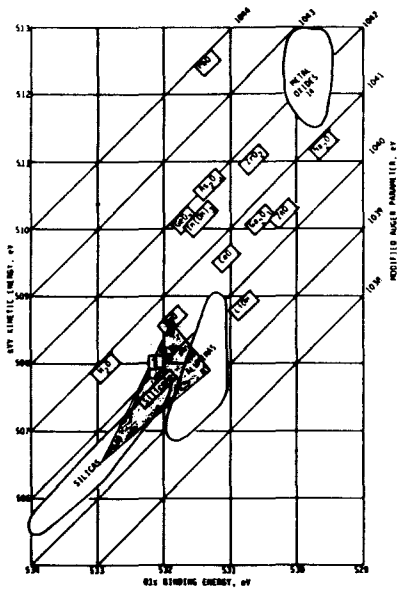
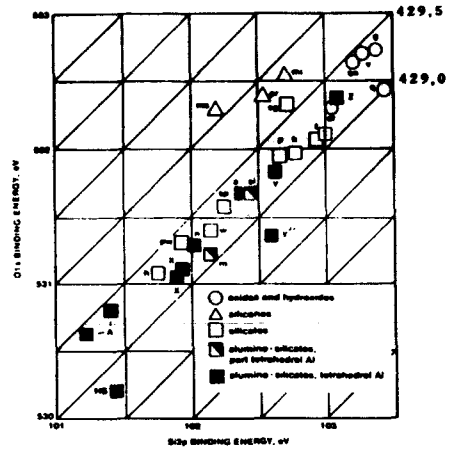


그림 3. 산화물과 수산화물에서 O<sub>1s</sub>의 화학적 상태.<sup>[14]</sup> 굵지 않은 코디에리트 ①과 구운 코디에리트 ②의 Auger 파라메타

Fig. 3. Chemical state of oxygen O<sub>1s</sub> in oxide and hydroxide.<sup>[14]</sup> Auger parameters in green ① and fired ② cordierite.

므로 이들 피크의 결합 또는 운동에너지 결정시 최대의 정확성을 찾기 위하여 교정을 하여야 할 필요성이 있다.<sup>[15]</sup> 본 실험에서는 Auger 파라메타 등의 에너지 결정시 전압측정오차(ΔV), 영점오차(ΔZ), 랜덤오차(ΔR)을 교정하여 주었으며 교정 방법은 B. S. HAN의 논문<sup>[16]</sup>에서 자세하게 설명하고 있다.

산화실리콘 화합물에서 O1s와 Si2p의 결합에너지는 매우 좋은 상관관계를 갖고 있어 Wagner는 산화실리콘 화합물의 O1s대 Si2p의 결합에너지를 그래프로 표시하여<sup>[16]</sup> 그 특성을 관찰한 바 있다. Wagner의 그래프에서 보면 429.0eV와 429.5eV의 두 에너지대 사이에서 silicate와 aluminosilicate 화합물의 대부분이 발견되어 진다. 이러한 표현 방법은 silicate에서 실리콘을 구별할 수 있도록 하여 준다. 실제 이 밴드안에서는 알루미늄이 풍부한 실리카트(예; HS: Si/Al=1.1; A: Si/Al=0.93)와 알루미늄이 부족한 실리카트(z: Si/Al=12: SiO<sub>2</sub>)가 존재함을 알 수가 있다. 코디에리트의 경우도 이 에너지 밴드 사이에 존재하며 특히 알루미늄이 부족한 실리카트의 영역에 존재하고 있다(그림 4).



- |    |                          |    |                        |
|----|--------------------------|----|------------------------|
| cr | ∞-crist°obalite          | p  | pyrochllite            |
| g  | silica gel               | pw | pseudowollastonite     |
| ox | oxidized silicon         | sp | spodumene              |
| q  | α-quartz                 | si | sillimanite            |
| v  | vyoor                    | m  | muscovite mica         |
| ms | dimethylsilicone polymer | a  | albite                 |
| mr | methylsilicone resin     | n  | natrolite              |
| pr | phenylsilicone resin     | A  | molecular seive type A |
| w  | wollastonite             | X  | molecular seive type X |
| h  | hemimorphite             | Y  | molecular seive type Y |
| k  | kaolinite                | Y' | molecular seive type Y |
| sg | soda glass               | Z  | H Zeolon               |
| t  | taic                     | HS | hydroxysodalite        |

그림 4. 실리콘-산소 화합물<sup>[16]</sup>과 굵기 전후의 코디에리트에서 ① O<sub>1s</sub> 대 Si<sub>2p</sub>의 결합 에너지

Fig. 4. Binding energy of O<sub>1s</sub> vs Si<sub>2p</sub> for silicon-oxygen compounds.<sup>[16]</sup> and green and fired cordierite ①.

### V. 결 론

코디에리트 내부에 대한 분석결과 코디에리트의 스토키오메트리의 이론값에 접근하는 구성비를 이루고 있었다. 내부의 구성과는 다르게, 굵기 전후의 코디에리트의 표면에서는 의미있는 차이가 나타나고 있다. 즉 Si의 증가를 통한 보상과 함께 Mg의 현저한 결핍을 볼 수 있다.

이러한 차이점을 고려할 때 코디에리트 표면 100Å의 두께에는 μ-코디에리트 결정상이 지배적이라 해석되어 진다. 내부의 분석 결과에서는 Mg이 매우 풍부한 MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>의 상으로 이는 겔형태의 무정형 형성때 생긴 것으로 추정되며 그 양은 매우 적었다.

굵기 전후의 코디에리트의 결합에너지 분석 결과 두 코디에리트 사이에 큰 차를 발견할 수 없었으며, 따라서 열처리가 화학적 변화를 가져다 주지 않음을 알 수 있었다. 또한 XPS 스펙트럼으로부터 코디에

리트의 결정이 마그네슘의 알루미늄-실리카트의 특성을 가짐을 알 수 있었다.

參 考 文 獻

[1] R.C. Weast (Ed.), "Handbook of chemistry and physics", 52nd edition, The Chemical Rubber Co. (publish), (1971-1972).

[2] K. Siegbahn, C. Nordling, A. Fahlman, R. Nordberg, K. Hamrin, J. Hedman, G. Johansson, T. Bergmark, S.E. Karlsson, I. Lindgren and B. Lindberg, ESCA: Atomic, Molecular and Solide State Structure Studied by Means of Electron Spectroscopy, 1967.

[3] X-Ray Photoelectron Spectroscopy (ed. T. Carlson) Benchmark Papers in Phys. Chem. and Chem. Phys. 2, 1978.

[4] B.S. Han, Thesis, University of Louis Pasteur, France 1988.

[5] C.D. Wagner, W.M. Riggs, L.E. Davis, J.F. Moulder and G.E. Muilenberg, "Handbook of x-ray photoelectron spectroscopy," Perkin-Elmer Corp. Eden Prairie 1979.

[6] P. Auger, *C.R. Acad. Sci.*, 180 (1925) 65.

[7] P. Auger, *J. Phys. Radium*, 6 (1925) 205.

[8] C.D. Wagner and P. Biloen, *Surface Sci.*, 35 (1973) 82.

[9] C.D. Wagner, *Disc. Far. Div., Chem. Soc.*, 60 (1975) 291.

[10] V. Oliver-Broudic, J. Guille, J.C. Bernier, B.S. Han, J. Werckmann, J. Faerber, P. Humbert and B. Carriere, Proc. of European Materials Research Society, May 31-June 2, Strasbourg, France 1988.

[11] V. Oliver-Broudic, Thesis, University of Louis Pasteur, France 1988.

[12] Z.W. Kowalski, *Proc. Brit. Ceram. Soc.*, 34 (1984) 77.

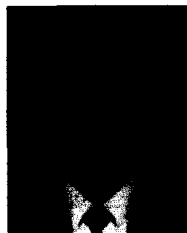
[13] S. Hofmann, *Analysis*, 9 (1981) 181.

[14] C.D. Wagner, D.A. Zatko and R.H. Raymond, *Anal Chem.*, 52 (1980) 1445.

[15] B.S. Han, *J. of K.I.E.E.*, vol. 25, no. 1 1988, 27.

[16] C.D. Wagner, D.E. Passoja, H.F. Hillery, T.G. Kinisky, H.A. Six, W.T. Jansen and J.A. Taylor, *J. Vac. Sci. Technol.*, 21(1982) 933. \*

著 者 紹 介



韓 乘 誠 (正會員)

1951年 12月 22日生. 1975年 전북대학교 전기공학과 학사학위 취득. 1981年 전북대학교 대학원 전기공학과 석사학위 취득. 1982年 전북대학교 전기공학과 조교. 1985年 충남대학교 대학원 전자공학과 박사과정수료. 1985年~현재 전북대학교 전기공학과 조교수. 1988年 프랑스 Louis Pasteur대학 박사학위 취득. 1988年 프랑스 CNRS(국립과학연구소) 연구원. 주관심분야는 반도체 및 초전도체 등임.