

## 질화물 박막을 이용한 단결정 $\beta$ -SiC의 고온 ohmic 접촉 연구

최연식 · 나훈주 · 정재경 · 김형준

서울대학교 재료공학부

### High Temperature Ohmic Contacts to Monocrystalline $\beta$ -SiC Thin Film Using Nitride Thin Films

Y. S. Choi, H. J. Na, J. K. Jeong, and H. J. Kim

School of Materials Science and Engineering, Seoul National University, Seoul 151-742

(1999년 9월 22일 받음, 1999년 11월 15일 최종수정본 받음)

**초 록** 내열금속인 W, Ti와 이들의 질화물인  $W_3N$ ,  $TiN$  박막을 이용하여 탄화규소 단결정의 ohmic 접촉을 연구하였다. 열처리 온도에 따른 고온 안정성과 전기적 특성 및 상호 확산 억제 특성을 고찰함으로써 이들 질화물의 고온에서 안정한 ohmic 접촉으로 이용가능성을 조사하였다. 새로운 유기화합물 원료인 bis-trimethylsilylmethane을 이용하여 화학기상 증착법으로 증착한 단결정  $\beta$ -SiC 박막과 W이 가장 낮은 접촉 비저항,  $2.17 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}^2$ 를 보였으며, Ti 계열은 상대적으로 높은 접촉 비저항 값을 나타내었다. 이들 전극 위에 산화 방지막으로 Pt 박막을 증착함으로써 전극의 산화를 막을 수 있었으며, 질화물 전극은 고온에서 금속 접촉에 비해 안정한 전기적 특성을 나타내었고, 상호 확산 방지 특성 면에도 우수한 특성을 지니고 있음을 알 수 있었다.

**Abstract** Refractory metals, W and Ti, and their nitrides,  $W_3N$  and  $TiN$ , were investigated for using as an ohmic contact material with SiC single crystalline thin films. The possibility of nitride materials for using as a stable ohmic contact material of SiC at high temperatures was examined by considering the thermal stability depending on the heat treatment temperature, their electrical properties and protective behavior from the interdiffusion. W contact with SiC thin films, deposited by using new organosilicon precursor, bis-trimethylsilylmethane, showed the lowest resistivity,  $2.17 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}^2$ . On the other hand, Ti-based contact materials showed higher contact resistivity than W-based ones. The oxidation of contact materials was restricted by applying Pt thin films on those electrodes. Nitride electrodes had rather stable electrical properties and better protective behavior from interdiffusion than metal electrodes.

**Key words** : silicon carbide, nitride, ohmic contact

### 1. 서 론

탄화규소(SiC)는 고온에서의 우수한 안정성과 광역 에너지 금지대역( $2.3 \sim 3.2 \text{eV}$ ), 높은 파괴전압( $5 \times 10^6 \text{Vcm}^{-1}$ ), 큰 포화이동속도( $2.5 \times 10^7 \text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ ) 등의 우수한 전기적 특성으로 인하여 고온, 고출력, 고주파 영역에서 작동되는 소자의 재료로서 많은 연구가 진행되어왔다.<sup>1~3)</sup> 이러한 전자 소자로서 응용하기 위해서는 가장 먼저 고온에서 안정성을 갖는 전극 물질의 개발이 선행되어야 한다.

우선 금속/탄화규소 접촉의 성질을 정확히 이해하는 것이 탄화규소를 이용한 소자제조에 있어서 필수적이다. 특히 탄화규소의 응용이 모색되고 있는 고온 소자의 경우에 있어서는 고온에서의 금속/탄화규소 접촉의 성질에 대한 이해가 무엇보다 중요하다. 고온 소자로서의 응용에 있어서 금속/탄화규소 접촉이 가져야 할 가장 중요한 특성은 고온에서 장시간 작동하였을 때의 전기적 안정성이다. 전기적 안정성을 보장하기 위해서는 먼저 고온에서의 물리적, 화학적 안정성이 절실히 요구된다. 탄화규소는 작은 에너지 장벽을 형성하는 좋은 특성의 ohmic 접촉을 얻기가 매우 어려우며 대부분의 접촉은  $800^\circ\text{C}$  이상의 열처리 과정을 거쳐야 한

다. 이는 n형 탄화규소의 경우 ohmic 접촉을 쉽게 형성하기 어렵다는 점을 단적으로 보여준다. 탄화규소와 접촉이 연구되는 금속은 탄화규소와의 반응성에 따라 크게 다음의 3가지로 나누어진다. 탄화규소와 전혀 반응하지 않는 Au나 Ag 등의 금속이 있으며 탄화규소와의 반응을 통해 silicide를 형성하는 Ni과 같은 silicide former, 그리고 silicide와 carbide를 동시에 형성시키는 Cr, Ta, W, Ti, Mo 등의 금속이 그것이다.<sup>4)</sup> 대부분의 silicide의 일함수는 순수한 금속의 일함수와 비슷한 값을 갖기 때문에 상전이에 의해 ohmic 접촉이 형성되는 것은 아닐 것으로 생각되며 열처리 과정에서 탄화규소의 표면에 생성되는 결합의 영향으로 ohmic 접촉이 형성되는 것으로 생각된다.

고온에서 장시간 안정하고 낮은 접촉 비저항을 갖는 ohmic 접촉의 형성을 위해서는 현재 중간층 또는 일함수가 낮은 금속/확산 방지막/산화방지를 위한 금속과 같은 구조의 다층 전극의 구조<sup>5)</sup>가 가장 유력하지만 이에 대한 연구는 거의 진행되어 있지 않다. 또한 이와 같은 다층 전극의 경우 공정의 복잡화와 더불어 그 신뢰성이 문제가 될 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 탄화규소와 ohmic 접촉으로 많이

사용되는 Ti, W 등의 내열 금속과 이들의 질화물로 고온 안정성, 확산 방지막 특성, 그리고 낮은 일함수를 가진 TiN, W<sub>2</sub>N을 접촉 물질로 선택하여 열처리 온도에 따른 안정성과 전류-전압 특성을 측정하고 계면 반응 상태와 상호 확산 억제 특성을 분석, 비교하여 이들 질화물들을 이용한 고온 ohmic 접촉에의 응용가능성을 타진해 보고자 한다.

## 2. 실험 방법

본 연구에서 사용된  $\beta$ -SiC (100) 박막은 Si(100) 기판 위에 CVD (Chemical Vapor deposition) 법을 이용하여 증착하였다.  $\beta$ -SiC 박막의 증착을 위하여 기존에 사용되던 SiH<sub>4</sub>와 탄화수소 gas가 아닌 source 내부에 Si와 C를 포함하고 있는 유기화합물 source인 BTMSM (Bis-trimethylsilylmethane)을 사용하였다. BTMSM은 원료물질 내부에 탄화규소의 기본결합과 유사한 구조의 SiC<sub>4</sub> 사면체 결합을 보유하고 있기 때문에 탄화규소 박막의 형성에 도움을 주는 것으로 생각된다. Heteroepitaxy에 필수적인 buffer layer의 형성을 위하여 본 연구에서는 초기 탄화공정 대신 승온 과정 중에 source인 BTMSM을 반응실에 유입하여 buffer layer를 형성하였다.<sup>9)</sup> 이 방법은 초기 탄화

규소층의 형성에 필요한 Si source를 source 자체에서 공급할 수 있기 때문에 탄화법<sup>7,8)</sup>을 이용하는 경우에 비해 void의 발생이 크게 억제되며 결과적으로 계면의 전기적 특성의 향상에 기여하게 된다.

위의 방법으로 buffer layer의 형성과정을 거친 후 승온을 계속하여 증착온도인 1260°C에서 기판의 온도가 안정된 후 탄화규소 박막을 증착하였다. 압력은 360torr로 유지하였으며, 이때의 증착속도는 대략 1 $\mu$ m/hr 정도이고, 실험에 사용된 탄화규소 박막의 두께는 1.5 $\mu$ m 이상이었다. Van der Pauw 방법을 이용하여 측정된 결과 증착된 박막은 다른 모든 연구자들의 보고와 같이 n-형 반도체이고 전하 전달자 농도는 대략  $1 \times 10^{19}$ cm<sup>-3</sup>이었다.

접촉 비저항의 측정을 위해 사진식각공정을 이용하여 circular pattern을 제작하였다. 먼저 증착된 단결정 탄화규소 박막에 감광제를 도포한 후 노광작업을 통해 원하는 패턴을 제작하였다. 형성된 패턴 위에 rf magnetron sputtering system을 이용하여 전극막을 증착하였다. 증착 power는 150W였고 증착속도는 W은 300Å/min이었으며 Ti는 이보다 조금 낮아 150Å/min정도이었다. 질화물 박막(W<sub>2</sub>N, TiN)의 경우 금속 박막과 마찬가지로 W과 Ti

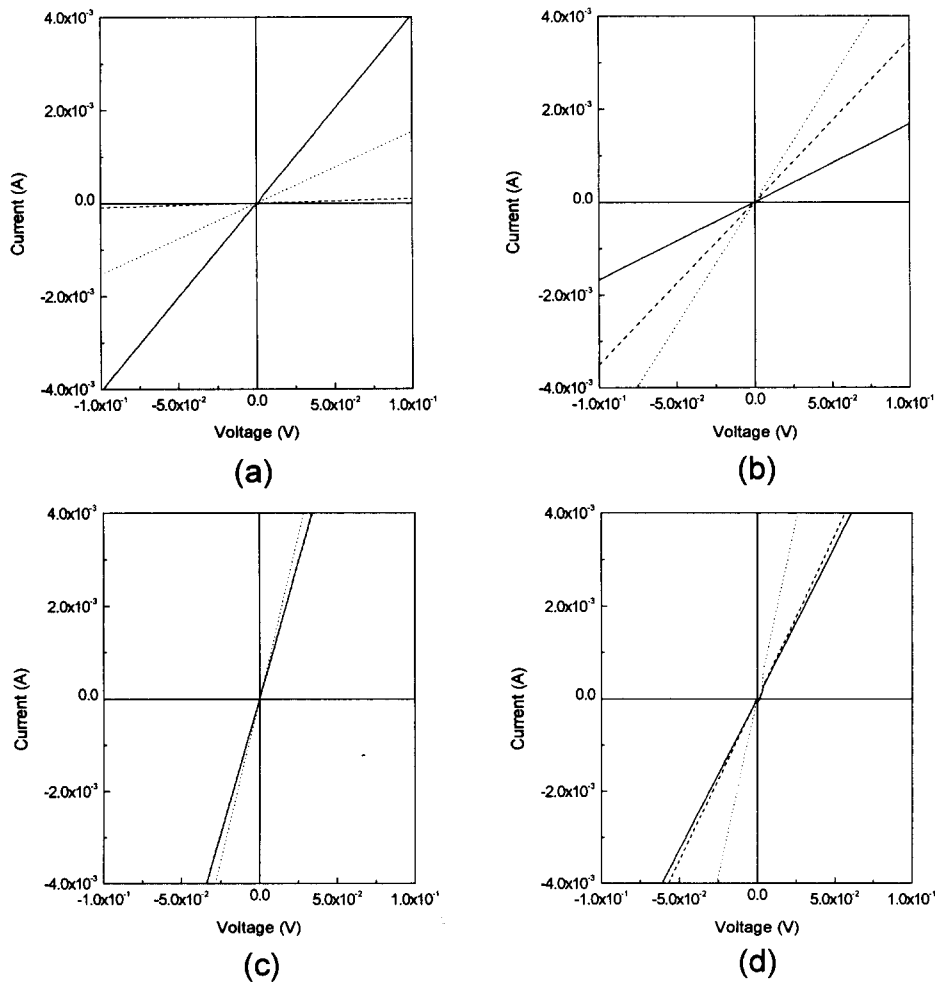


Fig. 1. Current-voltage characteristics of electrodes with annealing temperature. (a) Ti, (b) TiN, (c) W, and (d) W<sub>2</sub>N. Solid lines indicate as-dep., dashed lines 850°C annealed, and dot lines 1050°C annealed samples.

금속 타겟을 이용하였으며 Ar와 N<sub>2</sub> 가스를 혼합하여 유입하였다. 증착 power는 금속 박막과 같은 150W를 사용하였고, Ar와 N<sub>2</sub>의 혼합비는 W<sub>2</sub>N의 경우 9:1, TiN의 증착 시에는 8:2의 조건이었다. 증착속도는 W<sub>2</sub>N과 TiN이 각각 220 Å/min과 60 Å/min 정도이었다. 전극 증착후 리프트오프 공정을 통해 circular 접촉을 형성하였다.

형성된 접촉의 고온 안정성을 알아보기 위하여 전극막을 증착한 후 rf-유도 가열 장치에서 열처리를 행하였다. Rotary 펌프와 turbo-molecular 펌프를 이용하여 초기 진공을 잡고 Ar 가스를 1500sccm 흘리면서 360torr에서 20분간 열처리하였다. 또한 대기 중에서의 안정성을 알아보기 위해 RTA 장치를 이용하여 600°C, 대기 중에서 20분간 열처리를 행하였다.

증착한 전극과 탄화규소의 접촉이 ohmic 접촉을 이루는

것을 확인하기 위하여 전류-전압 특성을 측정하였다. 전류-전압 특성은 HP 4155A semiconductor parameter analyzer를 이용하였다. Ohmic 접촉의 장접계수인 접촉 비저항의 측정을 위하여 circular TLM법을 이용하였다. 이 방법은 mesa etching이나 국부적인 도핑이 필요 없기 때문에 전극과 탄화규소의 접촉 비저항을 측정하는데 적합한 방법이다. 열처리 과정을 거치는 동안 전극과 탄화규소사이의 반응이 일어나는지의 여부를 확인하기 위하여 XRD와 AES를 이용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

증착한 전극과 탄화규소의 ohmic 접촉성을 확인하기 위하여 전류-전압 특성을 측정하였다. W, Ti, W<sub>2</sub>N, TiN 접촉 모두 선형적인 전류-전압 특성(Fig. 1)을 보이는 것은

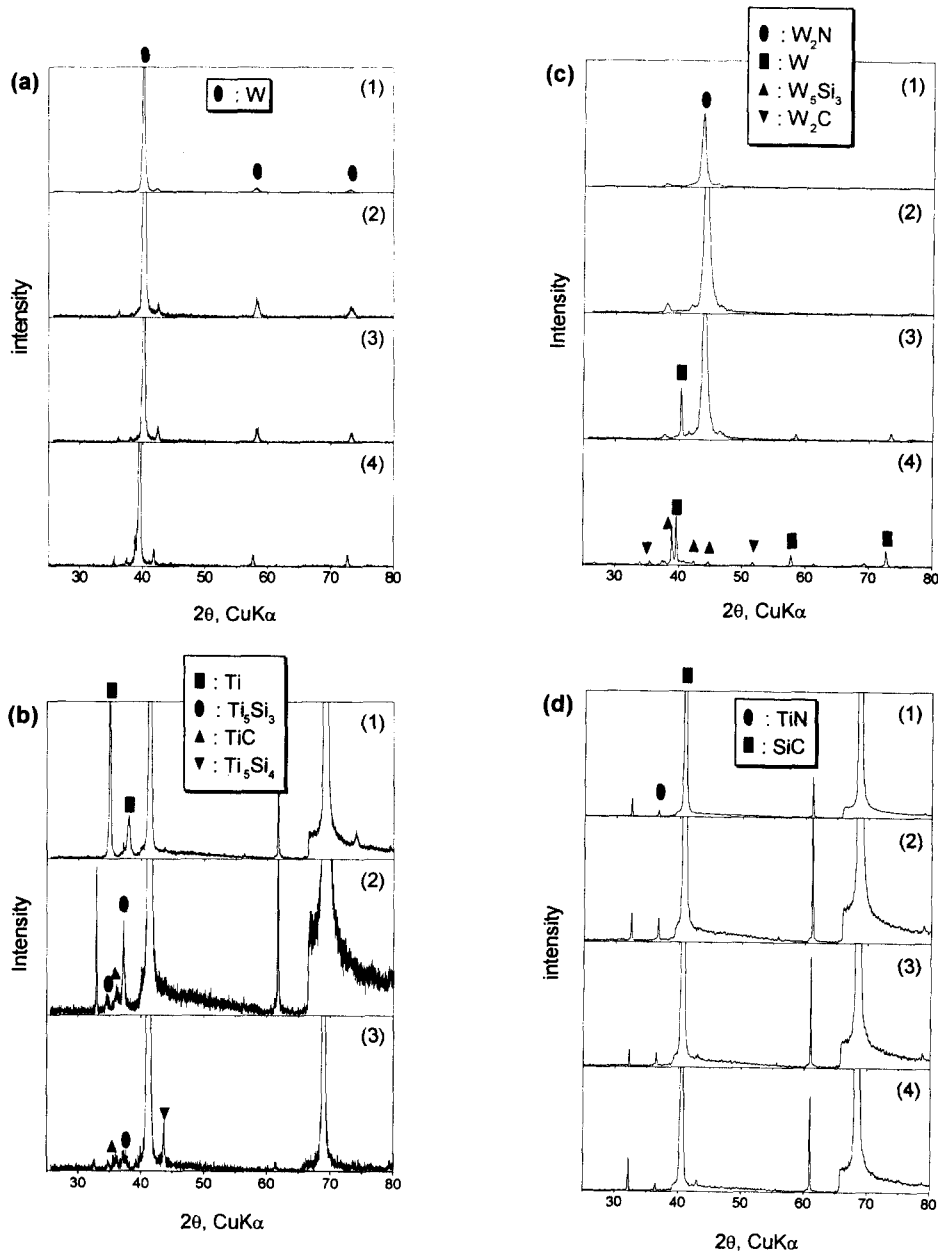


Fig. 2. XRD patterns of (a) W/ $\beta$ -SiC, (b) Ti/ $\beta$ -SiC, (c) W<sub>2</sub>N/ $\beta$ -SiC, and (d) TiN/ $\beta$ -SiC contacts as a function of annealing temperature ; (1) as-deposited, (2) 850°C annealed, (3) 950°C annealed, and (d) 1000°C annealed.

로 보아 ohmic 접촉을 형성함을 알 수 있었으며 850°C, 1050°C에서 20분간 열처리한 후 전류-전압 특성이 변화를 보임을 알 수 있었다. 증착한 상태에서 각각의 접촉이 모두 ohmic 특성을 보이는 것은 탄화규소박막 내의 전하전달자 농도가 높기 때문으로 ( $10^{19}/\text{cm}^3$  정도) 생각되며 열처리 과정을 거침에 따라 계면 특성의 변화, 반응 생성물 등의 영향으로 ohmic 접촉의 특성이 변하기 때문에 좋은 특성의 ohmic 접촉을 얻기 위해서는 적절한 열처리 조건의 확립이 필요하다고 판단된다.

### 3.1. 전극/탄화규소 계면반응

금속과 탄화규소 박막의 접촉을 열처리하였을 경우, 고상 반응을 관찰하기 위하여 Ar 분위기에서 20분간 열처리하였다. Fig. 2에 W, Ti,  $W_2N$ , TiN과 탄화규소를 열처리한 시편의 XRD 패턴을 나타내었다. Fig. 2(a)에서 보듯이 W은 열처리를 거치는 동안 탄화규소와의 반응을 통하여 반응 생성물을 형성하지 않음을 알 수 있다. W은 탄화규소와의 반응을 통해 silicide와 carbide를 동시에 형성하는 물질로 알려져있다. W과 Si, 그리고 C의 정확한 상평형도는 알려져 있지 않지만 대략 이러한 반응은 950~1100°C에서 발생하는 것으로 보고되고 있다.<sup>9)</sup> 따라서 1000°C 정도의 열처리 온도는 W과 탄화규소의 반응 또는 W과 Si, C의 상호확산이 시작되려는 온도이며 아직 XRD로 측정할 수 있을 정도의 반응은 일어나지 않은 것으로 판단된다. Ti는

열처리시 탄화규소와 반응하여  $Ti_3Si_3$ 와 TiC를 생성함을 보여주고 있다(Fig. 2 (b)).

$W_2N$ 의 경우 850°C까지는 어떤 반응도 일어나지 않지만 950°C에서부터  $W_2N$ 에서 W으로의 분해가 일어나는 것을 알 수 있다(Fig. 2(c)). 이는 고온에서 대부분의 질화물에서 나타나는  $N_2$ 의 활성화에 기인하는 것으로 생각되며 주로  $W_2N$ 의 표면에서 활성화된  $N_2$ 와 W의 분리가 일어나는 것으로 판단된다. 그 이상의 온도 즉 1000°C에서는  $W_2N$ 와 탄화규소 사이에 반응이 일어나 W-silicide와 W-carbide가 형성되어 W과 반응 생성물들이 혼재되어 있는 상태를 알 수 있다. TiN의 경우에는 열처리 공정을 거치는 동안 TiN과 탄화규소간의 어떠한 고상반응도 일어나지 않았다(Fig. 2(d)). 열역학적 계산을 해본 결과 TiN과 탄화규소 사이에 일어날 수 있는 고상반응들은 모두 표준 자유 에너지 값이 양의 값을 가지며 이는 열역학적으로 반응이 일어나지 않는 것이 더 안정함을 보여준다.

### 3.2. 접촉 비저항

탄화규소와 가장 좋은 ohmic 접촉을 구하기 위해 전극막을 증착한 상태에서와 열처리를 거친 후 각각의 접촉 비저항을 측정하였다.

가장 증착한 상태에서의 W/탄화규소 접촉은  $8.45 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}^2$ 의 접촉 비저항을 가졌으며 850°C에서 열처리한 후 가장 낮은 접촉 비저항값 ( $2.17 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}^2$ )을 나타내었다

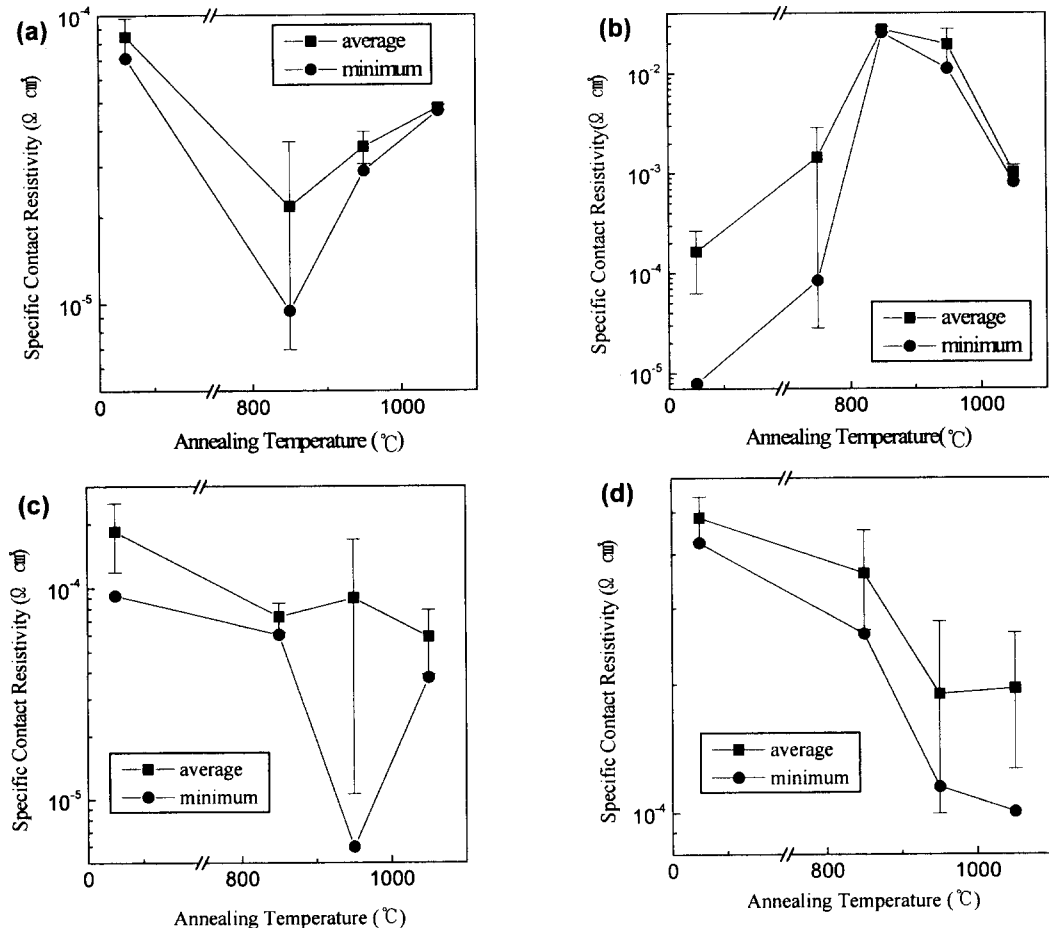


Fig. 3. Specific contact resistivities of (a) W/ $\beta$ -SiC, (b) Ti/ $\beta$ -SiC, (c)  $W_2N$ / $\beta$ -SiC, and (d) TiN/ $\beta$ -SiC contacts; as-deposited and after annealing for 20 min in Ar atmosphere.

(Fig. 3(a)). 그 이상의 온도(950, 1050°C)에서 열처리한 경우 점차 접촉 비저항값이 증가하는 경향을 나타내었다. 850°C에서 열처리한 경우 접촉 비저항이 감소하는 이유는 일반적으로 반도체와 금속간의 접촉에서 열처리 과정을 거치게 되면 금속과 반도체간의 계면특성이 향상되어 접촉 비저항이 감소하는 결과와 마찬가지로 열처리 과정을 통해 W와 탄화규소의 계면특성이 향상되었기 때문으로 생각된다.

Fig. 3(b)에 Ti/탄화규소 접촉의 열처리 온도에 따른 접촉 비저항값의 변화를 나타내었다. Ti/탄화규소 접촉의 경우 앞의 W/탄화규소 접촉과는 다른 양상을 보이는데 갓 증착한 상태에서 가장 낮은 접촉 비저항 ( $1.65 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}^2$ )을 나타내었으며 850°C에서 열처리 후 급격히 접촉 비저항이 높아지는 양상을 보였다. 이는 XRD 결과에서 보는 바와 같이 Ti와 탄화규소간의 반응으로 인해 계면 상태가 불안정해지기 때문으로 생각된다. 그 이상의 온도(950°C, 1050°C)에서 열처리할 경우 점차 감소하는 경향을 보이며 형성된 반응 생성물들이 열역학적으로 안정한 형태로 완전한 반응이 일어나면서 어느 정도 확립된 계면 형태를 형성

하기 때문으로 추측할 수 있으며 형성된 반응 생성물중 TiC의 비저항이 크기 때문에 갓 증착한 상태보다 접촉 비저항이 크게 나타나는 것으로 생각된다. 이러한 결과는 Chaudhry<sup>10)</sup> 등의 결과와 일치한다.

$\text{W}_2\text{N}$ /탄화규소 접촉의 경우 갓 증착한 상태에 비해 열처리 과정을 거친 후의 접촉 비저항이 낮아지는 것을 알 수 있으며 850°C 이상의 열처리 과정을 거치는 동안 거의 일정한 접촉 비저항을 나타낸다(Fig. 3(c)). 일반적인 금속-반도체 접촉과 마찬가지로 열처리 공정을 통한 계면 특성의 향상으로 설명될 수 있으며 이후 별다른 반응이나 상호확산이 발생하지 않고 안정한 상태의 접촉을 유지하는 것으로 추측이 가능하다. 이는 W과는 달리  $\text{W}_2\text{N}$ 의 경우 확산 방지막으로 사용되는 물질이기 때문에 전극내부로의 Si나 C의 상호확산을 효과적으로 막을 수 있기 때문으로 생각된다.

TiN/탄화규소 접촉의 경우는 Fig. 3(d)에서 보는 바와 같이 열처리 온도에 따라 점차 감소하다 포화되는 경향을 나타낸다. 앞서 계면 반응의 결과에서 보듯이 TiN과 탄화규소간에 어떠한 화학적 반응이 게재되지 않기 때문에 이는

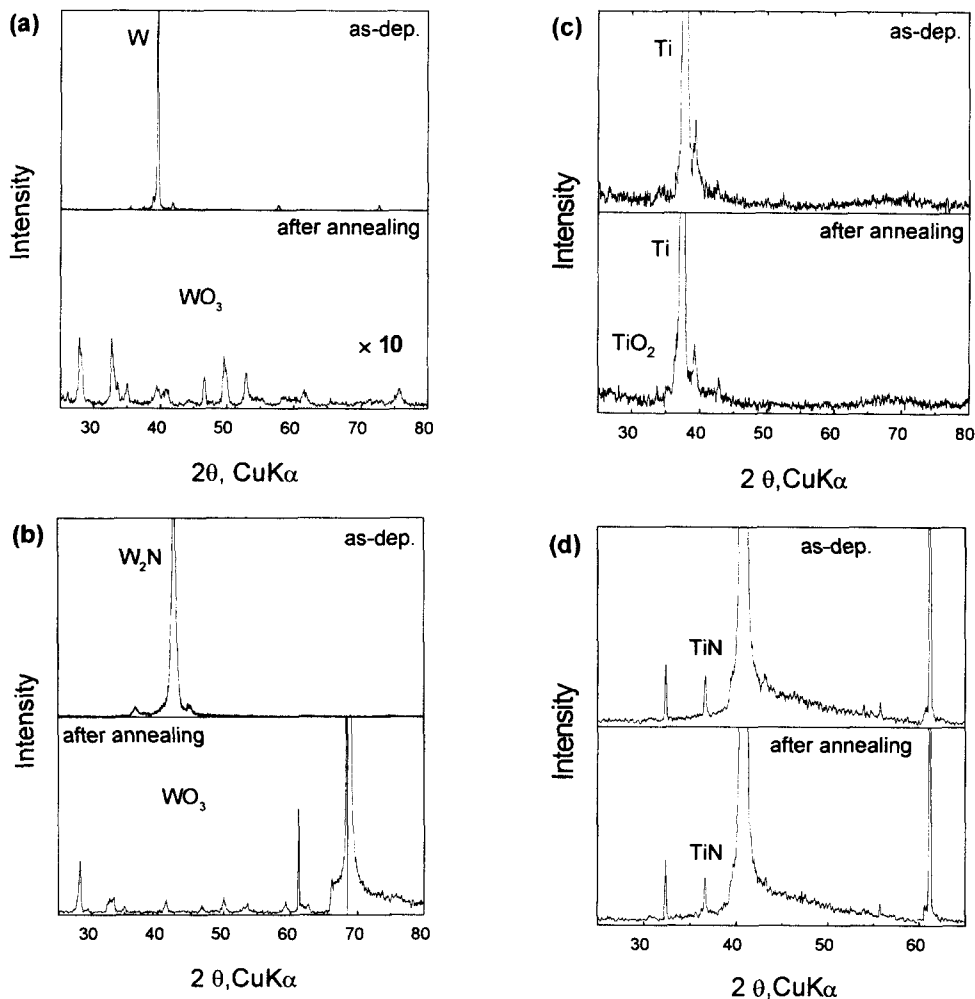


Fig. 4. XRD patterns of (a) W/ $\beta$ -SiC, (b)  $\text{W}_2\text{N}$ / $\beta$ -SiC, (c) Ti/ $\beta$ -SiC, and (d) TiN/ $\beta$ -SiC contacts : as-deposited and after annealing for 20min in air atmosphere.

TiN/탄화규소 계면의 열처리에 따른 향상의 결과로 설명될 수 있다. 이후 반응에 의한 계면의 붕괴나 Si, C의 상호확산에 의한 전극의 열화가 일어나지 않고 1050°C까지 안정한 상태의 전기적 특성을 보여주고 있다. 측정된 가장 낮은 접촉 비저항은 950°C에서 열처리한 경우  $1.89 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}^2$ 이며 이 값은 W/탄화규소나  $W_2N$ /탄화규소 접촉, 그리고 갓 증착한 상태의 Ti/탄화규소 접촉에 비해 비교적 높은 값이다.

### 3.3. 접촉의 대기중 안정성

탄화규소 박막 위에 증착된 각각의 접촉들의 (W,  $W_2N$ , Ti, TiN) 대기중의 안정성 확인을 위해 공기중 600°C에서 20분간 RTA를 이용하여 열처리하였다. 열처리에 따른 안정성을 XRD를 이용하여 분석하였으며 Fig. 4에 접촉의 대기중 안정성에 관한 결과를 나타내었다. W의 경우 접촉이 산화되어  $WO_3$ 가 형성됨을 알 수 있다. 열역학적으로도 600°C에서 W 1mol당  $\Delta G^\circ = -585.679 \text{kJ/mol}$  W의 값을 갖는  $WO_3(s)$ 가 가장 안정한 것으로 생각된다.<sup>11)</sup>  $W_2N$  박막도 W의 경우와 마찬가지로  $W_2N$ 이 산화되어  $WO_3$ 가 형성됨을 알 수 있었다.

Ti의 경우는 이와는 조금 다른 결과를 보여준다. 600°C에서 20분간 열처리한 경우 XRD 패턴상에서 약하게  $TiO_2$  anatase phase로 보이는 peak이 나타났지만 그와 동시에 여전히 강한 Ti peak이 관찰되었다. Ti 박막도 앞의 W이나  $W_2N$ 과 마찬가지로 금속광택을 잃고 박막의 색이 변한 점으로 미루어 표면이 산화되어  $TiO_2$ 가 형성되었지만 표면을 제외한 박막 내부에서는 Ti가 완전히  $TiO_2$ 로 산화되지 않고 그대로 남아 있는 것으로 생각된다. 즉 표면의  $TiO_2$ 이 형성되고 이  $TiO_2$ 층이  $O_2$ 의 확산을 억제하여 내부의 Ti는 산화되지 않고 그대로 남아 있는 것으로 판단된다. XRD 패턴상으로는 별다른 변화를 찾아 볼 수 없지만 TiN 박막 역시 열처리 이전과 열처리 후의 박막의 색이 변화한 것으로 미루어 Ti와 마찬가지로 표면이 산화된 것으로 판단된다. 열역학 data에 기초한 계산을 통해서도 600°C에서 TiN보다는  $TiO_2$ 가 안정한 상으로 판단되지만 강한 결합으로 인해 산화되는 속도가 매우 느린 것으로 생각된다. 따라서 열처리 시간이 증가할 경우 Ti나 TiN 모두 산화되어 결국 안정상인  $TiO_2$ 를 형성할 것으로 생각된다.

앞서의 결과에서 살펴본 바와 같이 W,  $W_2N$ , Ti, TiN 모

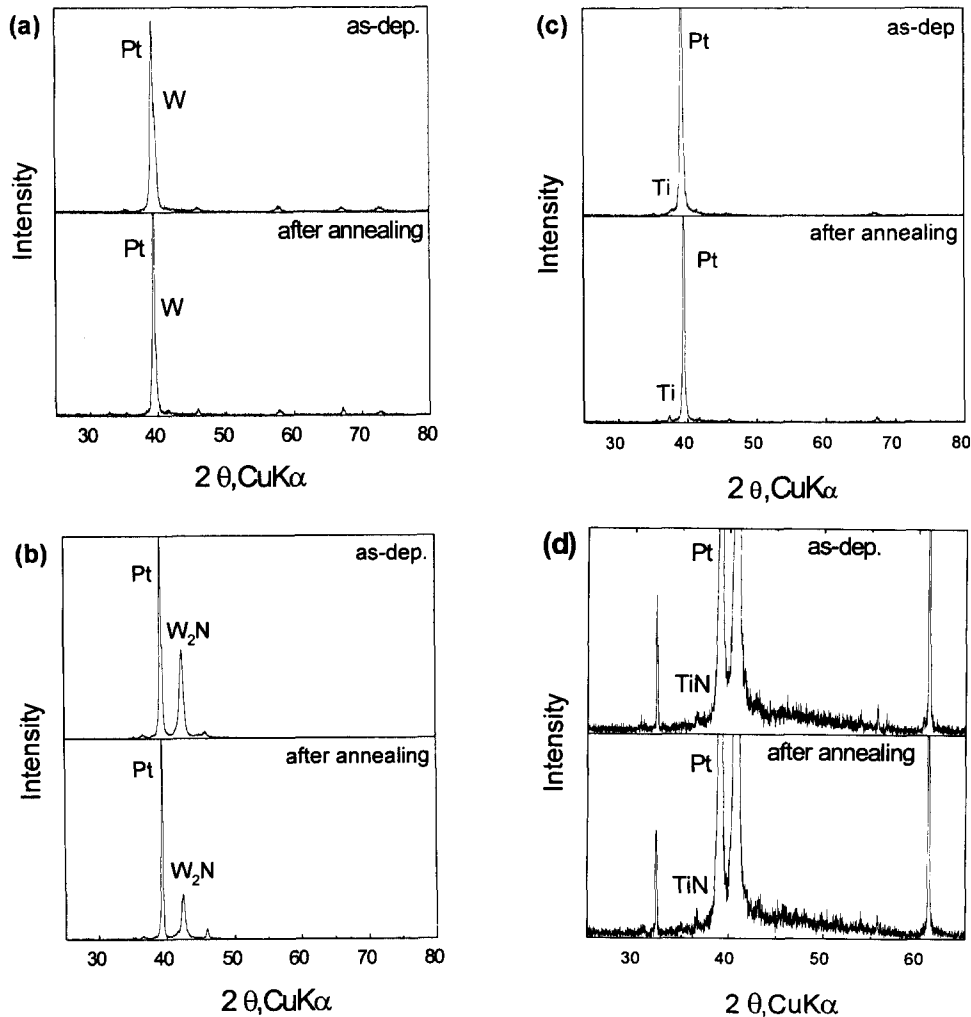


Fig. 5. XRD patterns of (a) Pt/W/ $\beta$ -SiC, (b) Pt/ $W_2N$ / $\beta$ -SiC, (c) Pt/Ti/ $\beta$ -SiC, and (d) Pt/TiN/ $\beta$ -SiC contacts: as-deposited and after annealing for 20min in air atmosphere.

두 600°C 이상에서 전극으로 사용할 때 대기 중에 노출될 경우 전극의 역할을 제대로 수행할 수 없을 것으로 판단되었다. 따라서 전극의 산화를 막기 위한 산화방지막으로 각각의 전극 위에 Pt 박막을 1200 Å 증착하여 다층 전극을 형성하였다. 증착된 Pt 박막의 산화방지 특성을 알아보기 위하여 앞의 열처리 조건 즉 대기중 600°C에서 20분간 열처리하였다. Fig. 5에서 알 수 있는 바와 같이 각각의 전극은 600°C에서 20분간 열처리 한 경우에도 XRD 상에서 별다른 변화를 보이지 않고 안정한 상태를 유지하였다. 이로부터 전극 상부에 Pt 박막을 증착함으로써 전극의 산화문제를 어느 정도 해결할 수 있음을 알 수 있다.

3.4. 고온에서의 상호확산에 의한 접촉의 열화

탄화규소를 이용한 소자의 경우 고온에서 장시간 작동하기 때문에 반응에 의한 전극의 열화와 함께 전극물질이나 Si, C의 상호확산에 의한 전극의 열화가 큰 문제로 떠오르고 있다. 따라서 본 실험에서는 선택한 전극물질들의 반응성과 함께 상호확산 정도와 산화방지막을 증착하였을 때의

상부층과의 계면 안정성을 고찰하기 위해 Pt/electrode/탄화규소 구조의 접촉을 700°C, Ar 분위기에서 5시간 동안 열처리한 후 AES depth profile을 행하였다.

Fig. 6(a)에서 보는 바와 같이 Pt 박막 내부로 상당량의 W이 확산한 것을 알 수 있다. W과 탄화규소 사이의 계면을 살펴보면 W 박막 내부로 Si와 C이 소량 확산한 것을 알 수 있으며 탄화규소 내부로도 약간의 W이 확산한 것을 알 수 있지만 각각의 층이 안정한 상태를 유지하고 있음을 알 수 있다. Si 공정 상에서 W도 확산 방지막으로 사용되는 물질이기 때문에 다른 물질들의 확산을 어느 정도 방지할 수 있는 것으로 판단된다.

Pt/W<sub>2</sub>N/탄화규소 접촉에 대한 결과를 Fig. 6(b)에 나타내었다. W의 결과와 마찬가지로 Pt/W<sub>2</sub>N/탄화규소 구조가 안정한 상태로 그대로 유지되고 있음을 알 수 있으며, W과 비교해 볼 때 Pt 내부로의 W의 확산이나 W<sub>2</sub>N 내부로의 Si, C의 확산이 훨씬 작음을 알 수 있다.

Fig. 6(c)에 나타난 Pt/TiN/탄화규소의 결과는 앞서의

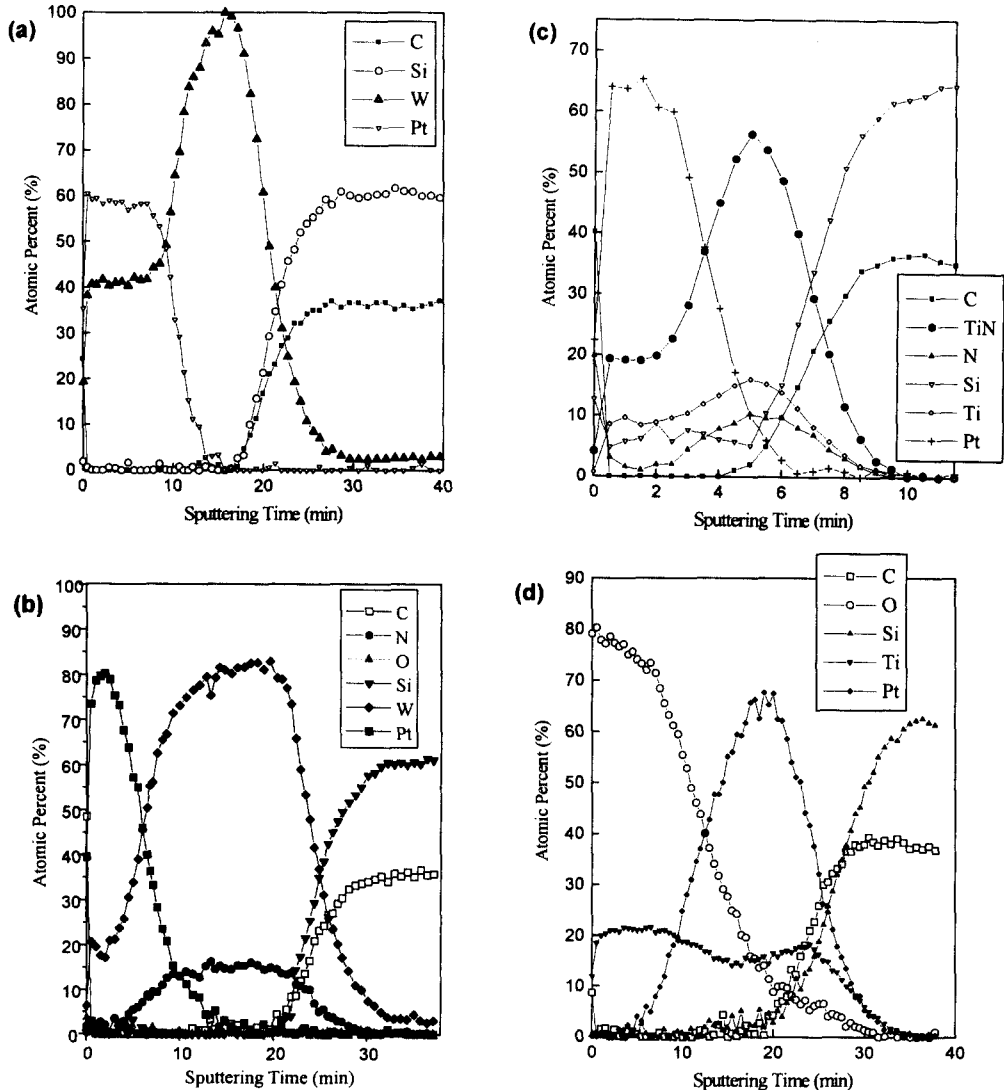


Fig. 6. AES depth profiles of (a) Pt/W/ $\beta$ -SiC, (b) Pt/W<sub>2</sub>N/ $\beta$ -SiC, and (c) Pt/TiN/ $\beta$ -SiC contacts, annealed at 700°C in Ar atmosphere for 5hr, and (d) Pt/Ti/ $\beta$ -SiC contact, annealed at 700°C in Ar atmosphere for 5hr after annealing at 600°C in air atmosphere for 20min.

W 이나  $W_2N$  보다는 각각의 박막들의 확산정도가 더 큼을 알 수 있다. Pt 박막과 TiN 박막 사이의 계면은 큰 변화 없이 남아 있는 것으로 판단되나 TiN 내부에 Si 이 상당량 확산한 것을 알 수 있다. 실제 TiN 은 확산 방지막으로 가장 많이 사용되는 물질이지만 그 증착조건에 따른 박막의 특성 변화에 따라 확산 방지특성이 많은 차이를 보이게 된다. 특히 확산 방지 특성에는 입계의 상태가 큰 영향을 끼치는 것으로 알려져있다. 또한 측정에 사용된 TiN 박막의 두께가 앞서의 W,  $W_2N$  보다는 얇은 것도 이러한 결과를 낳은 요인 중의 하나로 생각된다.

Pt/Ti/탄화규소 접촉의 경우는 앞서의 3가지 접촉과는 달리 600°C 대기 중에서 열처리를 거친 후 700°C에서 열처리하였다. Fig. 6(d)에 나타난 결과와 같이 각각의 물질의 확산이 매우 심하게 일어남을 알 수 있다. 특히 원래 상태의 Pt와 Ti층의 위치가 반전되어 가장 위쪽의 층이  $TiO_2$  층으로 생각되며 가장 바깥쪽에 위치해 있던 Pt이 내부로 확산해 들어간 것을 볼 수 있다. 탄화규소와의 계면을 살펴보면 계면 상태가 이미 무너진 상태로 다른 물질들과 반응하여 반응 생성물을 형성한 것으로 판단된다. Ti와 Pt는 탄화규소와 대략 500°C 이상에서 Ti는 silicide와 carbide를 동시에 형성시키며 Pt의 경우도 Pt-silicide를 형성시키는 것으로 알려져있다. 본 실험에서도 Ti와 탄화규소가 계면에서 반응하여 Ti-silicide와 Ti-carbide가 형성된 것을 알 수 있으며 표면에서 내부로 확산한 Pt도 탄화규소와 반응하여 Pt-silicide를 형성한 것으로 판단된다. 이 결과로 미루어 Ti를 이용한 고온 ohmic 접촉의 경우 안정성이 큰 문제가 될 것으로 생각되며 다른 산화방지 금속막의 증착시에도 중간에 확산방지막이 게재되어야 할 것으로 생각된다.

#### 4. 결 론

형성된 접촉 (W, Ti,  $W_2N$ , TiN)은 모두 갓 증착한 상태에서 탄화규소와 ohmic 접촉을 형성하였으며 이는 탄화규소 박막내의 전하전달자 농도가 크기 때문으로 생각된다. W/탄화규소 접촉은 850°C에서 열처리했을 경우 가장 낮은  $2.17 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}^2$ 의 접촉 비저항값을 나타내었다.  $W_2N$ /탄화규소 접촉은 1000°C에서 탄화규소와 반응하여  $W_3Si_5$ 와  $W_2C$ 를 형성하였으며 1050°C에서 가장 낮은  $5.88 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}^2$ 의 접촉 비저항값을 나타내었다. Ti/탄화규소 접촉은 850°C에서 탄화규소와 반응하여 반응 생성물을 형성하였고 이들 반응 생성물의 형성으로 인해 접촉 비저항이 크게 증가하였으며 갓 증착한 상태에서 가장 낮은 접촉 비저항을 얻을 수 있었다. TiN/탄화규소 접촉은 탄화규소와 반응하지 않고 안정한 상태를 유지하였으며 950°C 이상의 열

처리 온도에서 열처리과정을 거쳤을 경우에도 거의 일정한 접촉 비저항을 나타내었다. 형성된 접촉들은 공기 중 600°C에서 열처리한 후 산화되는 양상을 보였으며 산화방지막으로 Pt 박막을 증착하여 이 문제를 해결할 수 있었다. 고온 동작시 반응과 함께 큰 문제가 되는 상호확산의 억제효과와는  $W_2N$  접촉이 가장 뛰어난 특성을 보였다. 질화물 박막은 금속에 상응하는 전기적 특성을 나타내었으며 전기적, 열적 안정성에 있어서 뛰어난 특성을 보임으로써 탄화규소와의 고온 ohmic 접촉으로 적합한 물질로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 서울대학교 반도체 공동 연구소를 통한 교육부 학술진흥재단의 과학기술기초중점 연구지원 (ISRC-97-E-1101)에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. J. A. Powell and L. G. Matus, in *Springer Proceedings in Physics, Vol. 34, Amorphous and Crystalline Silicon Carbide*, Eds. G. L. Harris and C. Y. -W. Yang (Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 1989) p. 2.
2. R. J. Trew, J. B. Yan and P. M. Mock, *Proc. IEEE*, **79**, 598 (1991).
3. J. M. McGarrity, F. B. McLean, W. M. DeLancey, J. W. Palmour, C. H. Carter Jr, and J. A. Edmond, *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, **39**, 1974 (1992).
4. L. M. Porter and R. F. Davis, *Mater. Sci. Eng. B*, **34**, 83 (1995).
5. J. S. Shor, R. A. Weber, L. G. Provost, D. Goldstein, and A. D. Kurtz, *J. Electrochem. Soc.*, **141**, 579 (1994).
6. W. Bang and H. J. Kim, *Kor. J. Cer.*, **3**, 163 (1997).
7. S. Nishino, J. A. Powell, and H. A. Will, *Appl. Phys. Lett.*, **42**, 460 (1983).
8. W. Bang and H. J. Kim, *Thin Solid Films*, **290-291**, 181 (1996).
9. L. Baud, C. Jaussaud, R. Madar, C. Bernard, J. S. Chen, and M. A. Nicolet, *Mater. Sci. Eng. B*, **29**, 126 (1995).
10. M. I. Chaudhry, W. B. Berry, and M. V. Zeller, *Int. J. Electronics*, **71**, 439 (1991).
11. I. Barin, in *Thermochemical Data of Pure Substances*, VCH, New York (1989).