

## 레이저 활성화에 의한 p형 SiC와 비합금 Mo 오믹 접합

### Characteristics of Non-alloyed Mo Ohmic Contacts to Laser Activated p-type SiC

이창영, 송지현, 최재승, 이재봉, 김기호, 김영석, 박근형, 이형규\*

(C. Y. Lee, J. H. Song, J. S. Choi, J. B. Lee, K. H. Kim, Y. S. Kim, K. H. Park, and H. G. Lee\*)

#### Abstract

SiC has been an useful material for the high voltage, high temperature, and high frequency devices, however, the required high process temperature to activate the implanted p-type dopants has hindered further developments. In this study, we report, for the first time, on the laser activation of implanted Al and non-alloyed Mo ohmic contacts and its application to MOSFET fabrication. The contact and sheet resistance measured from CTLM patterns have decreased by increasing laser power, and the lowest values are  $3.9 \text{ K}\Omega/\square$  and  $1.3 \times 10^{-3} \Omega\text{-cm}^2$ , respectively, at the power density of  $1.45 \text{ J/cm}^2$ . The n-MOSFETs fabricated on laser activated p-well exhibit well-behaved I-V characteristics and threshold voltage reduction by reverse body voltage. These results prove that the laser process for implant activation is an alternative low temperature technology applicable to SiC devices.

**Key Words** : Laser activation, SiC, Mo, Non-alloyed ohmic contact

#### 1. 서 론

밴드갭이 큰 화합물 반도체, 예를 들어 GaN, SiC, 는 높은 항복전압으로 인해 고전압, 고전류, 또한 고온 동작 소자와 높은 이동자 포화 속도로 인해 고주파 소자로 적합하다[1]. 그 중 SiC는 Si 과 마찬가지로 열 산화막의 성장이 가능하여 MOSFET를 기반으로 한 고온용 트랜지스터와 그 IC가 연구되어 왔다[2-4]. 하지만, SiC 내에서 원자의 확산속도가 Si에 비해 매우 작아 산화막의 성장 온도가 높고 소자 제작 시 도우펀트의 확산을 위해 고온 공정이 필요하여 소자의 신뢰성에 걸림돌이 되고 있다[5]. 더욱, 큰 밴드갭으로 인해

어셉터의 준위가 밴드갭 내로 매우 깊기 때문에 정공의 생성이 어렵고 도우펀트의 활성화율이 낮다.

SiC의 p형 도우펀트로는 알루미늄 (Al), 붕소 (B) 가 주로 사용되며 Al은 B에 비해 어셉터의 준위가 낮은 것으로 알려져 있다. 이온주입에 의해 주입된 Al은  $1500\sim 1600 \text{ }^\circ\text{C}$  의 고온에서 30 분 이상 어닐하여도 활성화율이 1~10% 로 매우 낮다 [6]. 고온에 의한 활성화의 단점은 표면으로부터 원자의 이동 및 표면의 분해에 의해 표면이 거칠어지는 면(facet)이 발생하여 트랜지스터의 특성을 열화시키기도 한다[7]. 또한 소오스와 드레인 어닐 후 게이트를 형성하여야 하기 때문에 자기정렬 방식의 p 채널 트랜지스터의 제작이 불가능하다.

고온 어닐의 문제점은 레이저를 이용하여 저온에서 도우펀트를 활성화함으로써 해결될 수 있다. 강한 자외선 레이저 빛을 반도체에 쬐어주면 광흡수에 의해 순간적으로 국부적인 영역이 고온에 도

\* : 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 및 컴퓨터정보통신연구소  
(충북 청주시 흥덕구 개신동 산 48번지,  
Fax : 043-274-9614

Corresponding Author : hglee@cbucc.chungbuk.ac.kr  
2002년 12월 12일 접수, 2003년 1월 9일 1차 심사완료,  
2003년 3월 20일 최종 심사완료

달하여 다결정 박막 트랜지스터 제작 뿐 아니라 실리콘계 게이트 제작, 미세 소자의 제작에 응용되고 있다[8,9]. 레이저 활성화를 SiC에 적용한 예가 있으나 광세기에 따른 활성화의 정도, 소자 제작으로의 응용 등에 대해 미흡하여 좀 더 연구할 필요가 있다[10].

p 형 반도체에 오믹 접합 금속으로는 Schottky 장벽을 낮추기 위해 높은 일함수를 가진 금속이 필요하다. Ni, Ti, Mo 등이 높은 일함수를 가지고 있고 높은 온도에도 견디는 내화성 금속이므로 SiC와 같은 고온동작 소자의 오믹 접합에 적합하다. 일반적으로 오믹 접합은 금속 증착 후 어닐 과정을 통해 기판과 합금을 형성하여야만 접합이 형성된다고 알려져 있으나 Mo, Ti 등은 SiC p 형 에피층에 금속 증착 후 합금화 과정이 없이도 오믹 접합이 형성된다고 보고되어 있다[11].

본 연구에서는 Al이 이온주입된 SiC 기판을 엑시머 레이저를 이용하여 실온에서 이온을 활성화하고 이 표면에 Mo를 증착하여 오믹 접합을 형성한 결과와 이를 n 채널 MOSFET에 적용한 예를 보고한다. 이 결과는 학계에 처음으로 보고된 것으로서 향후 SiC를 이용한 자기정렬형 p 채널 MOSFET 제작이 가능함을 시사한다.

## 2. 실험

질소가 고농도로 도우핑이 된 기판 위에 다시 n 형의 도우핑 농도  $5 \times 10^{15}/\text{cm}^3$ , 두께  $5 \mu\text{m}$ 인 에피층이 성장된 6H-SiC 시료를 미국 Cree사에서 구입하여 시편으로 사용하였다. 기판은 (0001) 면에서  $\langle 11\bar{2}0 \rangle$  방향으로  $3.5^\circ$  기울어져 절단되었다. 시료의 제작 순서는 희생 산화막 성장, 이온주입, 산화막 제거, 레이저에 의한 활성화, 그리고 패턴 제작의 순서로 진행되었다. 먼저, 이 기판에  $1150^\circ\text{C}$ 에서 고순도 산소를 사용하여 20 nm의 희생 산화막을 성장하였는데 그 자세한 실험조건은 이미 보고된 바 있다[12]. 성장된 희생 산화막의 역할은 칩재, 기판의 표면이 강한 레이저 빔에 의해 분해되는 것을 방지하며 둘째, 산화막 제거 후 도우핑 농도가 표면으로부터 일정하게 유지되도록 하는 기능을 한다. 산화막 성장 후, 시료의 손상을 줄이기 위해  $650^\circ\text{C}$ 에서 다중에너지를 사용하여 Al을 이온주입하였다. 이온주입의 도우즈 양과 에너지는 각각  $2.0 \times 10^{14}/\text{cm}^2$  (30 keV),  $3.0 \times 10^{14}/\text{cm}^2$  (80 keV),  $5.0 \times 10^{14}/\text{cm}^2$  (150 keV),  $1.0 \times 10^{15}/\text{cm}^2$  (260

keV)이며, 결과적으로 얻는 이온의 분포는 깊이 방향으로 균일한 농도를 갖는 박스형태로써 그 깊이가  $0.3 \mu\text{m}$ , 평균농도  $5 \sim 6 \times 10^{19}/\text{cm}^3$  이었다[7].

이온주입된 시료는  $5 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 의 크기로 절단하여 실온의 질소 분위기에서 레이저를 조사(irradiation) 하였다. 사용된 레이저는 엑시머 레이저로써 308 nm 파장의 XeCl 선으로써 그 빔 세기의 공간적 분포는 (profile) 중앙부분이 강한 가우시언 분포를 하고 있으며, 펄스의 시간 폭은 20 nsec이었다. 렌즈를 조합하여 시료 표면에서 빔의 크기는  $3 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$ , 평균 광세기는  $0.5 \sim 1.5 \text{ J}/\text{cm}^2$  이 되도록 하였다. 또한 펄스 수도 변화시켜 최적의 조건이 되도록 하였다.

레이저에 의해 활성화가 시료는 LAL BOE에 의해 희생산화막을 제거한 후 광식각 공정에 의해 면저항 ( $R_s$ ) 및 접촉저항 ( $R_c$ ) 측정용 cTLM (circular transmission line measurement) 패턴을 제작하고 즉시 스퍼터링 장비에 투입하여 Mo 금속 막을  $0.1 \mu\text{m}$  두께로 증착하였다. 이 후 감광막을 lift-off 하여 패턴을 완성하였다. 각 패턴은 작은 원의 반경은  $100 \mu\text{m}$ 이며 각 원의 간격은  $5 \sim 30 \mu\text{m}$ 인 6개의 독립원으로 구성되어 있었다. cTLM 방법에 의한 측정은 TLM 방식에 의해 측정하는 것 보다 SiC와 같은 예칭이 어려운 물질인 경우 매사에칭이 필요치 않아 적용이 용이하였다. 측정 방법은 중앙 원과 바깥쪽 금속사이에 일정 전류를 흘려주며 양단 전압 차이를 반도체 파라미터 분석기로 측정한 후, 각 원의 간격에 대해 이 전압 차이를 도시한 후 이로부터 Marlow와 Das가 제시한 관계식을 사용하여  $R_s$ 와  $R_c$ 를 계산하였다[13].

## 3. 실험결과 및 고찰

레이저 펄스의 수를 3개로 고정하여 시료에 조사하고 Mo 금속을 증착 후 오믹 접합을 위한 어닐을 하지 않은 상태에서 측정된 I-V 특성의 결과를 그림 1에 도시하였다. 레이저의 광세기를  $0.68 \sim 1.45 \text{ J}/\text{cm}^2$  까지 변화시켰을 때 비교적 낮은 에너지인  $0.68 \text{ J}/\text{cm}^2$  에서도 I-V 특성은 직선적이며 간격의 변화에 따라 그 기울기가 관계성을 가지고 변화됨을 알 수 있다. 직선적인 I-V 특성은 금속/반도체의 접합이 오믹 특성을 보인다는 것을 의미하며 또한, 간격이 증가함으로써 I-V의 기울기가 감소한다는 것은 총 저항이 증가한다는 것을 시사한다.

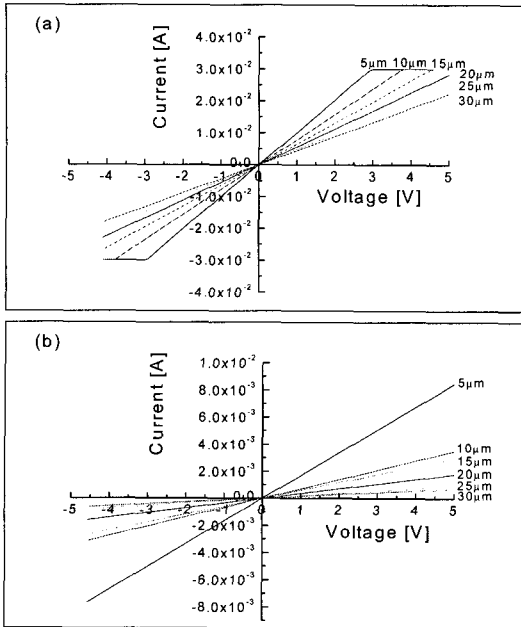


그림 1. Mo 접촉으로부터 측정된 I-V 특성 결과.  
레이저의 광세기 : (a) 1.45 J/cm<sup>2</sup> (b) 0.68 J/cm<sup>2</sup>  
Fig. 1. I-V curves obtained from Mo contacts.  
Laser optical power : (a) 1.45 J/cm<sup>2</sup> (b) 0.68 J/cm<sup>2</sup>

반면, 1600 °C의 고온에서 활성화된 시료에 증착된 Mo에서 측정된 I-V 결과를 그림 2에 도시하였는데 전형적인 정류기의 특성을 나타내고 있어 증착된 Mo는 오히려 접합이 되지 않았음을 알 수 있다.

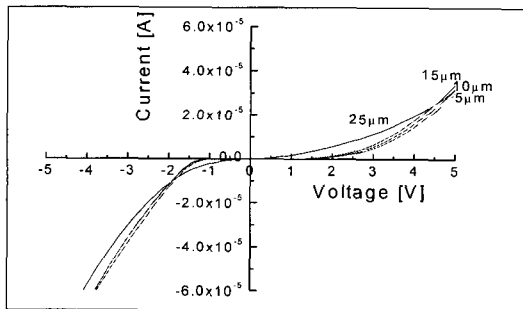


그림 2. 1600 °C의 고온에서 활성화된 시료에 증착된 Mo에서 측정된 I-V 특성.  
Fig. 2. I-V characteristics measured from the as-deposited Mo on thermally activated sample at 1600 °C.

패턴의 간격이 30 μm에서 얻은 I-V 데이터를 레이저의 광세기로 다시 그리면 그림 3의 결과를 얻을 수 있다. 이 그림에서 보듯이 광세기가 증가하면서 I-V 특성의 기울기가 더 증가하는 것으로 나타나는데 이때의 기울기는 총저항의 역수인 것을 유념하면 광세기가 증가하면서 총저항이 감소한다는 것을 알 수 있다. 이는 광세기 증가에 의해 이온주입된 이온의 활성화가 촉진되어 Rs와 Rc 값 모두 감소하는 것으로 설명된다.

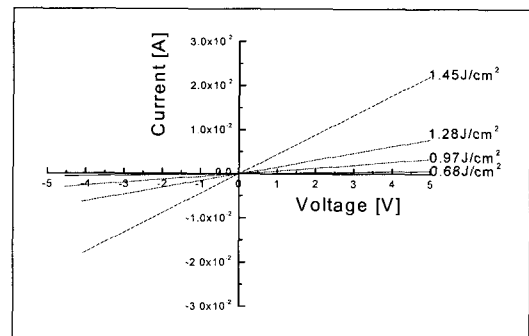


그림 3. 패턴의 간격 30 μm에서 측정된 I-V 특성의 레이저 광세기 의존성.  
Fig. 3. Optical power dependence of I-V curve measured from the gap spacing of 30 μm.

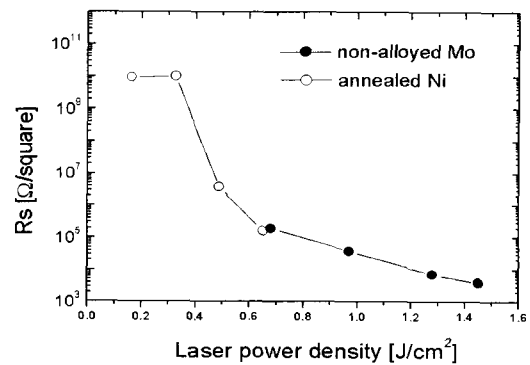


그림 4. 광세기 변화에 따른 면저항의 변화.  
Fig. 4. Sheet resistance as a function of laser optical power.

광세기를 변화시키면서 Rs를 계산한 결과를 그림 4에 나타내었다. 그림의 열린 동그라미로 표시된 실험값들은 레이저 활성화 후 950 °C에서 30초간 어닐된 Ni로부터 얻었으며 그 외의 데이터는

Mo로부터 측정되었다. 레이저를 쏘여주지 않은 경우 이온주입 후의 면저항이 약  $10 \text{ G}\Omega/\square$  이었으나 광세기가  $0.35\sim 0.65 \text{ J/cm}^2$  부근에서 6차수 이상 급격히 감소함을 알 수 있다. 또한, 광세기를 더욱 증가시키면  $R_s$ 는 지수적으로 감소하여  $1.45 \text{ J/cm}^2$ 에서 최소  $3.9 \text{ k}\Omega/\square$ 을 얻었다.

역시 레이저의 XeCl 파장에 의해 SiC가 용융되기 시작하는 임계광세기는 결정상태일 때  $0.8\sim 0.9 \text{ J/cm}^2$  이지만 비정질 상태에서는 좀 더 낮은  $0.3\sim 0.5 \text{ J/cm}^2$  인 것으로 보고되고 있다[14]. 따라서, 본 실험에서 광세기가  $0.35 \text{ J/cm}^2$  이상일 때  $R_s$ 가 급격히 감소하는 원인은 이온주입에 의해 비정질 상태로 변화된 영역이 레이저에 의해 용융되면서 원자들이 액체상태, 또는 고온의 고체상태에서 확산되어 격자로 제자리를 차지하게 되어 도우펀트가 활성화되기 때문인 것으로 이해된다. 레이저의 광세기를  $1.5 \text{ J/cm}^2$  이상 더 증가시킨다면 더 낮은  $R_s$ 를 얻을 수 있으리라 기대되지만 강한 레이저 빛에 의해 기판 표면이 박리(ablation) 또는 색상변화가 나타나 광세기를 더 이상 증가시킬 수 없었다. 이러한 관찰 결과는 손상 임계 광세기가  $1.4 \text{ J/cm}^2$  이라는 타 연구의 결과와 일치한다[15].

접촉저항 역시 그림 5에 보듯이 광세기를 증가시키면 감소하는 경향을 보이고 있고 그 최소 값은  $1.26 \times 10^{-3} \Omega\text{-cm}^2$ 이다.  $R_c$ 가 감소하는 것은 금속/반도체의 접합에서 이동자의 터널링 과정이 열전자 방출보다 우세한 경우 식 1의 관계로부터 이해 할 수 있다[16].

$$R_c \sim \exp\left[\frac{2\sqrt{\epsilon_s m^*}}{h} \left(\frac{\phi_{Bp}}{\sqrt{N_A}}\right)\right] \quad (1)$$

광세기가 증가함에 따라 활성화에 의한 이온화된 어셉터의 수,  $N_A$ , 가 증가하면 (1)의 관계를 따라  $R_c$ 는 점차 감소하는 것으로 이해된다.

레이저에 의해 활성화된 부분에 Mo를 증착하고 어닐을 하지 않고도 오믹 접합이 되는 원인을 고찰해 보았다. 대부분의 p형 오믹 접합에 대한 연구는 에피층에 접합된 금속의 어닐 온도를 변화시키면서 측정한 결과들이므로, Crofton의 연구진이 실험적으로 얻은 Al 도우핑 농도를 변화시키며 측정한  $R_s$  값과 Al-Ti 증착 후 어닐에 의해 형성된  $R_c$  값을 비교 데이터로 사용하였다[17]. 먼저, 그들의  $R_s$ 와 도우핑 농도 실험치에 가장 근접하는

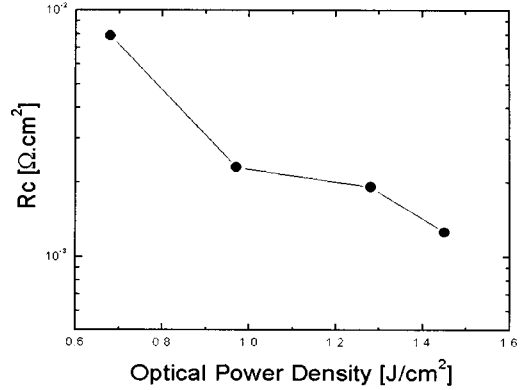


그림 5. 광세기에 따른 접촉저항의 변화.  
Fig. 5. Change of contact resistance by optical power.

직선을 사용하여 본 연구의  $R_s$  값을 얻게되는 Al의 도우핑 농도를 예측하였다. 그 결과, 그림 1의  $R_s$ 를 얻게되는 에피층의 농도는 각각  $5.5 \times 10^{15}$ ,  $6.0 \times 10^{16}$ ,  $8.7 \times 10^{17}$ ,  $2 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 로 예측되었다. 다음, 이 값들은 x축으로 하고 본 연구의  $R_c$  값을 y축으로 하여 그림 6에 표시하고 그들의 Al-Ti 결과도 포함하였다.

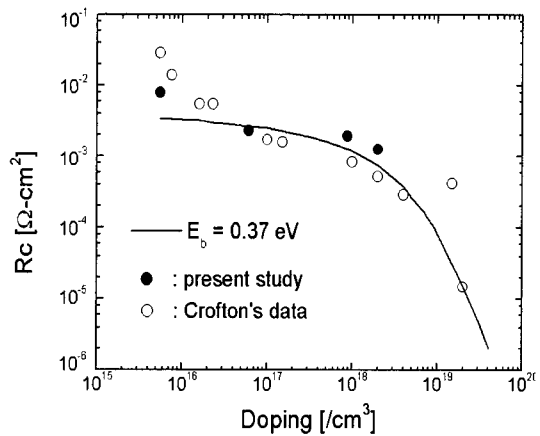


그림 6. 본 연구에서 얻은 접촉저항의 결과를 Al-Ti 오믹 접합의 결과와 비교한 그림[17].  
Fig. 6. A comparison of the contact resistance resulted from the present study with that of Al-Ti ohmic contacts[17].

그림 6에서 보면, 본 연구에서 측정한 Rc 값과 에피층 농도 관계는 Al-Ti에서 측정한 데이터들과 같은 경향에 속해 있다. 또한, 비록 다른 금속을 사용하였음에도 불구하고 그들의 실험치를 설명하기 위해 이론적으로 도출한 터널링 장벽 에너지인  $E_b = 0.37$  eV의 범주를 크게 벗어나지 않는다(그림 6의 실선). 따라서 본 실험에서 증착된 Mo는 레이저에 의해 활성화된 표면에 이상적인 Schottky 장벽에너지, 즉

$\Phi_{Bp} = E_g - e(\phi_m - \chi) = 2.86 - (4.6 - 3.3) = 1.56$  eV보다 훨씬 낮은 값을 가지고 있음을 알 수 있다. 그들은 Al-Ti 오믹 접합이 이처럼 낮은 장벽에너지를 가지는 이유는 어닐할 때 금속으로부터 Al이 SiC에 고농도로 도우핑 되어 전위장벽의 영상력 저하가 일어나기 때문으로 설명하였다.

레이저에 의한 이온을 활성화하면 도우펀트가 표면 쪽으로 재 분포되어 표면에 이온주입때의 모사계산에서 얻는 농도보다 약 10배 이상 높은 정공 농도가 존재한다는 깊이 분석 결과에서 보이고 있다[10]. 이와 같은 결과들을 종합하여 볼 때, 레이저에 의해 이온주입 분포보다 표면 쪽 가까이에 활성화가 더 많이 이루어져 Mo를 증착 후 어닐을 하지 않고도 장벽에너지를 이론 값에 비해 낮추며, 또한 높은 정공 농도에 의해 터널링이 지배적인 전류흐름으로 오믹 접합이 되는 것으로 생각된다. 하지만 본 연구에 사용된 시료의 깊이에 따른 정공의 농도 또는 Al의 농도를 측정해야만 이러한 유추 해석을 뒷받침 할 수 있다.

레이저에 의해 이온주입 영역이 활성화한 후 Mo를 p 우물의 접촉으로 사용한 n 채널 MOSFET을 제작하였다. 소자의 개략적 구조는 그림 7과 같다. 이 MOSFET의 p형 우물은 B이, p<sup>+</sup>우물접촉은 Al이 이온주입 된 후 광세기가 1.1 J/cm<sup>2</sup>인 3 펄스의 레이저에 의해 활성화가 이루어졌다. 반면, 소오스, 드레인 접촉의 n<sup>+</sup>는 질소를 이온주입 되었고 두께 44 nm의 열산화막 성장 시 1200 °C의 고온 열에 의해 활성화되었다. 소자 제작공정과 소자의 특성의 자세한 분석은 추후 발표 예정이다[18].

이 소자로부터 드레인 전압을 변화시키며 드레인 전류를 측정 한 결과는 그림 8과 같다. 게이트 전압이 9V 이상일 때 트랜지스터의 동작이 시작되고 있고 특히 p<sup>+</sup>접합을 통해 기관 역 전압을 가해 주면 드레인 전류가 감소되는 것이 관찰되었다. 이

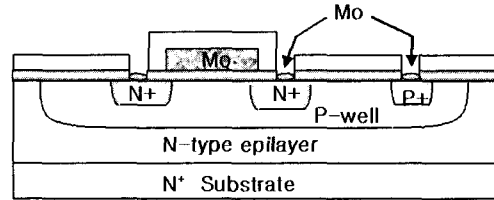


그림 7. 레이저로 활성화에 의해 제작된 n 채널 MOSFET의 개략적 구조도.

Fig. 7. Schematic drawing of the n channel MOSFET with a laser activation.

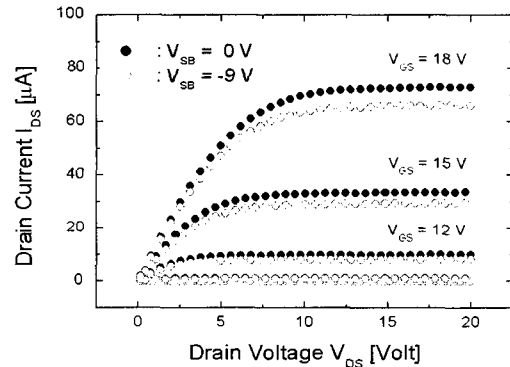


그림 8. 제작된 n 채널 MOSFET의 전류-전압 특성.

Fig. 8. Current-voltage characteristics of the fabricated n channel MOSFET.

결과는 붕소가 주입된 p 우물 영역도 알루미늄이 주입된 경우와 마찬가지로 레이저에 의해 활성화 되어 n 채널을 형성하게 만들며, Mo 오믹 접촉에 의해 형성된 p<sup>+</sup>접합이 우물 영역에 전압을 걸어주기에 충분히 작은 Rs, Rc 값을 가지고 있어 소자 구성 성분으로 잘 동작하고 있음을 증명하는 것이다.

#### 4. 결론

6H-SiC의 n형 기판에 Al이 이온주입 된 영역에 엑시머 레이저를 사용하여 실온에서 활성화한 후 물리리브덴을 증착하여 오믹 접합과 이를 이용한 n 채널 MOS 트랜지스터를 제작하였다. 이온주입 영

역에 광 펄스를 쏘여준 후 몰리브덴을 증착하면 고온 어닐을 하지 않더라도 cTLM 패턴에서 측정된 전류-전압 특성은 오믹 접합 특성을 보이고 있다. 이 패턴으로부터 측정된 면저항은 광세기가  $0.35 \text{ J/cm}^2$  이상인 광펄스를 쏘여주면 이온주입 직후에 비해 6차수 이상 급격히 감소하기 시작하여  $1.45 \text{ J/cm}^2$ 에서 최소값인  $3.9 \text{ k}\Omega/\square$ 를 얻게 되었다. 이러한 면저항의 감소는 이온 주입된 도우펀트가 레이저에 의해 활성화되었음을 시사하고 있다. 접촉저항 역시 광세기가 증가함에 따라 감소하여 최소 값으로  $1.3 \times 10^{-3} \Omega\text{-cm}^2$ 를 얻었다. 레이저 활성화 후 몰리브덴 증착만으로 오믹 접합이 얻어지는 이유로 강한 레이저 빛에 의해 도우펀트가 표면 가까이 농도가 더 높도록 재분포되어 장벽 에너지가 낮아지는 모형을 제시되었다.

붕소, 알루미늄, 그리고 질소가 각각 이온 주입된 p 형 우물, p<sup>+</sup> 접합, n<sup>+</sup> 접합 영역을 레이저에 의해 활성화 한 후 열산화막을 성장하여 n 채널 MOS 트랜지스터를 제작하였다. 게이트 및 모든 금속은 몰리브덴만을 사용하였으며 오믹 접합은 열적 어닐 없이 이루어졌다. 붕소가 주입된 영역은 레이저에 의해 활성화되어 증가형 트랜지스터의 p 형 우물로 동작하여 게이트 전압이 9 V일 때 트랜지스터의 열림 (on) 현상이 발생되었으며, 특히 Al이 활성화된 p<sup>+</sup> 영역에 -9 V의 기판 역전압을 가해주면 드레인 전류가 감소하는 것을 관측하였다. 이와 같은 특성들은 레이저에 의한 이온주입 도우펀트가 활성화되었음과 Mo를 증착하여 형성된 오믹 접합이 소자의 구성요소로써 잘 동작하고 있음을 시사한다. 따라서, 레이저를 이용한 저온 활성화 공정이 고온 어닐에서 발생하는 문제점들을 해결할 수 있으며 자기정렬형 p 채널 SiC 트랜지스터를 제작할 수 있는 공정임을 확인하였다.

### 감사의 글

본 연구는 2000년도 한국과학재단 목적기초연구 (과제번호: R-01-2000-000-00264-0)사업과 산업자원부 산업기반기술사업 (공고번호 : 990-17-03)에 의해 지원되었음. 또한, 저자 중 이형규의 연구는 충북대학교 발전기금재단에 의해서도 지원되었음

### 참고 문헌

[1] Yoon Soo Park, Ed., "Semiconductors and

Semimetals", Vol 52, "SiC Materials and Devices", Academic Press, 1998.

[2] R. Schörner, P. Friedrichs, and D. Peters, "Detailed investigation of n channel enhancement 6H-SiC MOSFET's", IEEE Trans. on ED, Vol. 46, No. 3, p. 533, 1999.

[3] S. Ryu, K. T. Kornegay, J. A. Cooper, Jr., and M. R. Melloch, "6H-SiC CMOS digital ICs operating on a 5V power supply", IEEE Trans. on ED, Vol. 45, No. 1, p. 45, 1998.

[4] 이원선, 오충완, 최재승, 신동현, 이형규, 박근형, 김영석, "고온 응용을 위한 SiC MOSFET 문턱전압 모델", 전기전자재료학회논문지, 1권, 7호, p. 559, 2002.

[5] J. N. Pan, J. A. Cooper, Jr., and M. R. Melloch, "Thin-oxide silicon-gate self-aligned 6H-SiC MOSFET's fabricated with a low-temperature source/drain implant activation anneal", IEEE Electron Device Letters, Vol. 18, No. 7, p. 349, 1997.

[6] T. Kimoto, A. Itoh, H. Matsunami, T. Nakata, and M. Watanabe, "Aluminum and boron ion implantations into 6H-SiC epilayers", J. Electronic Materials, Vol. 25, No. 5, p. 879, 1996.

[7] M. A. Capano, S. Ryu, M. R. Melloch, J. A. Cooper, Jr., and M. R. Buss, "Dopant activation and surface morphology of ion implanted 4H- and 6H-Silicon Carbide", J. Electronic Materials, Vol. 27, No. 4, p. 370, 1998.

[8] G. Verma, C. Gelatos, S. Talwar, and J. C. Bravman, "Formation of titanium silicide on narrow gates using laser thermal processing", IEEE Trans. on ED, Vol. 49, No. 1, p. 4, 2002.

[9] H. Tsukamoto and T. Suzuki, "Selective laser annealing (SELA) used in the fabrication of sub-0.1 $\mu\text{m}$  MOSFETs", Solid-State Electronics, Vol. 42, No. 4, p. 547, 1998.

[10] S. Ahmed, C. Barbero, and T.W. Sigmon, "Activation of ion implanted dopants in a -SiC", Appl. Phys. Lett., Vol. 66, No. 6, p. 712, 1995.

[11] J. B. Petit, P. G. Neudeck, C. S. Salupo, D.

- J. Larkin, and J. A. Powell, "Metal contacts to n and p type 6H-SiC: electrical characteristics and high-temperature stability", Silicon Carbide and Related Materials V-Washington 1993, Inst. Phys. Conf. Ser. 137, p. 679, 1994.
- [12] J. S. Choi, W. S. Lee, D. H. Shin, H. G. Lee, Y. S. Kim, and K. H. Park, "Abnormal hysteresis property of SiC oxide C-V characteristics", Tech. Dig. of Int'l Conf. on SiC and Related Materials-ICSCRM 2001, p. 619, Tsukuba, Japan, 2001.
- [13] G. S. Marlow and M. B. Das, "The effects of contact size and non-zero metal resistance on the determination of specific contact resistance", Solid State Electronics, Vol. 25, No. 2, p. 91, 1982.
- [14] C. Dutto, E. Fogarassy, and D. Mathiot, "Numerical and experimental analysis of pulsed excimer laser processing of silicon carbide", Applied Surface Science, Vol. 184, p. 362, 2001.
- [15] S. D. Russell and A. D. Ramirez, "In situ boron incorporation and activation in silicon carbide using laser recrystallization", Appl. Phys. Lett., Vol. 74, No. 22, p. 3368, 1999.
- [16] S. M. Sze, "Physics of Semiconductor Devices", John Wiley & Sons, Inc., 2nd Ed., Ch. 5.
- [17] J. Crofton, P. A. Barnes, J. R. Williams, and J. A. Edmond, "Contact resistance measurements on p type 6H-SiC", Appl. Phys. Lett., Vol. 62, No. 4, p. 384, 1993.
- [18] 송지현, "레이저 어닐링 공정을 도입한 SiC MOSFET 제작", 충북대학교 석사학위논문, 2월, 2003.