

열처리 조건에 따른 Al-Si 접촉

김태형¹⁾ 유석빈²⁾ 김창일³⁾ 장의구⁴⁾
 중앙대학교¹⁾ 전기공학과²⁾

Al-Si Contact on Annealing condition

Tae-Hyung Kim, Seok-Bin Yu, Chang-il Kim, Eui-Goo Chang

Dept. of Electrical Eng. Chung - Ang Univ.

ABSTRACT

The specific contact resistance (SCR) of metal-semiconductor interface is an important design parameter for VLSI interconnecting technology.

As the critical feature size of the integrated structures decrease, the physical size of ohmic contacts will also decrease and the series contact resistance will increase. Al-Si contacts on the annealing condition are studied. The properties of the contacts depend considerably on the annealing procedures. Barrier height is measured from Capacitance-Voltage characteristics. The specific contact resistance are analyzed using a modified four point method.

1 서론

최근까지 집적회로소자는 contact resistance에 큰 영향을 받지 않고 동작하였으나 소자 dimension의 scale-down으로 점차 소자가 submicron으로 되어, contact area가 작아짐에 따라 전류밀도가 증가하게 되므로 소자의 안정성에 큰 영향을 주게 된다.[1][2]

그러므로 M-S 계면의 SCR (specific contact resistance)은 VLSI interconnection 기술에 대해 중요한 design 및 process parameter이며, shallow junction의 영역위에 민을 만든 낮은 저항의 ohmic contact의 제작에는 thermal process시 발생하는 현상인 contact의 metallurgy와 도핑 농도에 의존한다. ohmic contact 공정에 실제 사용되고 있는 방법들은 계면에 얇고 높게 도핑된 반도체층을 형성시켜 M-S junction tunneling을 일으키거나 적절한 dopant를 포함한 금속을 반도체 표면에 증착시킨 후 dopant가 반도체 내로 확산되어 n⁺⁺ 또는 p⁺⁺ 층을 형성하도록 열처리하는 방법들이 사용되고 있으며 열처리 조건에 따라 contact의 특성은 크게 변화한다.[3]

M-S contact의 전도 메커니즘은 도핑농도에 따라 매우

밀접한 관계가 있으며, 반도체 표면에 낮게 도핑($N_A < 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)된 경우 전류는 장벽위를 TE (thermionic emission)에 의해 지나는 캐리어에 의하게 되며, 도핑농도가 $10^{17} < N_A < 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 일 경우 thermionic field emission (TFE)에 의해 전도되고 10^{19} 이상의 도핑농도의 경우 field emission (FE)에 따른 터널링에 의한다.

Al은 실리콘 집적 회로에서 가장 많이 사용되고 있으며 p-type이나 높게 도핑된 n-type에서는 ohmic contact을 낮게 도핑된 n-type에서는 정류성 "Schottky-barrier" 접촉이 된다.[4]

본 논문에서는 Al으로 Si 표면에 M-S contact을 형성하여 열처리조건에 따른 장벽높이를 구하고, 수정된 four point method로 SCR을 분석하여 그에 따른 metallurgy 특성과 더 낮은 contact resistance를 갖는 조건을 고찰하고자 한다.

2 실험

비저항이 1.5-4.0 $\Omega\text{-cm}$ 이고 Boron이 도핑된 P-type Wafer를 초기세척 과정을 거쳐 진공증착기를 이용해 10^{-6} Torr에서 Al을 증착하여 Al-Si contact을 만들고 뒷면의 contact의 상태를 알기 위해 온도별로 차이를 두고 뒷면을 열처리하여 Schottky diode를 제작하였다. 제작된 contact과 diode를 온도와 시간별로 열처리하여 그에 따른 Schottky barrier의 높이와 contact resistance를 구하였다. Schottky barrier의 높이는 C-V method를 이용하여 식 (1)에 의하여 외삽법으로 V_{bi} 를 계산한 후 가전자 준위와 페르미 준위의 차이를 고려하여 구하였다.

$$\frac{1}{C^2} = \frac{2(V_{bi} - V - KT/q)}{q \epsilon_s \epsilon_0 N_D} \quad (1)$$

또한 ohmic contact의 전기적 특성을 나타내는 SCR (specific contact resistance), ρ_c 는

$$\rho_c = (dI/dV)_{V=0}^{-1} = \frac{1}{\Delta A} \lim_{\Delta A \rightarrow 0} R_c \Delta A \quad (2)$$

여기서 R_c 는 총접속저항, ΔA 는 contact area 의 증분이다. 두 ohmic contact 사이의 총저항 R 은 contact resistance R_c , contact 밀의 spreading resistance R_s , contact 사이의 재료의 series resistance R_m , probe에 기인된 저항 R_p 로 구성 된다.

$$R = R_c + R_s + R_m + R_p \quad (3)$$

본 논문에서는 오직 한 metallization공정이 요구되는 수정된 four point method를 이용하여 SCR 을 측정 하였다.[3][5]

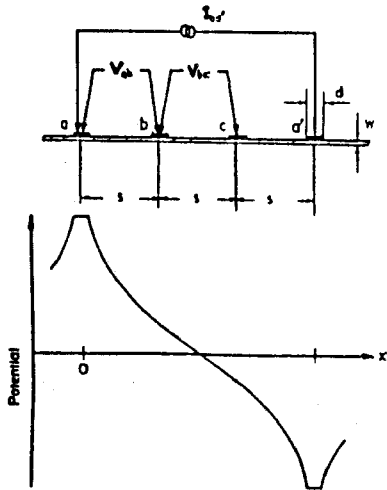


그림 1 수정된 four point method 와 전위분포

four point method는 등거리 contact a,b,c,a'가 극소의 두께에 무한의 평면위에 직선상에 배열되어 있고 이 때 전압 V_{bc}, V'_{bc} 는 각각 전류 $I_{aa'}$ 와 $I_{ba'}$ 가 a와 a', b와 a' 사이에 일정하게 흐르고 있을 때의 b,c 사이의 전압을 측정 한 것이다. 이때 contact b의 SCR은

$$\rho_c = AR_c = A(R - R_m) = A[(V'_{bc}/I_{ba'}) - (V_{bc}/I_{aa'})] \quad (4)$$

이다.

저항 R_p 는 probe 에 기인된 것으로 측정에서는 무시한다. 윗식은 두가지의 근사가 포함되었는데

첫째, contact b 아래의 spreading resistance 가 무시되었고 둘째, b와 c 사이의 series resistance R_m 은 a와 a' 또는 b와 a'에 흐르는 전류와 무관하다는 가정이다. 그러나, logarithmic potential의 존재로 등간격 원봉들에 대한 two-dimension field problem을 풀면 connecting line a,a' 상의 potential은

$$\phi(x) = -(I_{aa'} \rho / 2\pi w) \ln(x/3s-x) + \phi_0 \quad (5)$$

$$d/2 \leq x \leq 3s-(d/2)$$

이다.

여기서 ρ 은 반도체비저항, d는 contact 직경, w는 시료두께, s는 contact간의 거리이다. 윗식은 $d \ll s$ (contact b와 c에 의한 전위의 distortion이 없음)와 $w \ll s$ (전류가 depth 따라 균일)에서 타당하다. $\phi(x)$ 로부터 contact의 외부의 series resistance R_m 이 얻어진다. planar, radial 전류 흐름이 원형 contact 아래에 있을 때 기인되는 spreading resistance는 Fang 등[6]에 의해 주어지고

$$R_s = (4 \rho_c / \pi d^2) F \quad (6)$$

F는 보정치이며

$$F = \frac{\sum y^m / [2^{2m} (m!)^2]}{\sum y^m / [(m+1)2^{2m} (m!)^2]} - 1 \quad (7)$$

여기서 $y = \rho d^2 / 4 \rho_c w \quad (8)$

이다.

$y \leq 1$ 에 대해 spreading resistance는 $R_s \leq 0.12R_c$ 이고 대부분의 경우 무시된다. 직경 d는 y에 의해 주어진 ρ, ρ_c, w 에 대해 선택되므로 d의 값은 적절히 조절된다. 따라서 ρ_c 에 대해 더욱 정확한 식을 유도하면

$$\rho_c = A (R - R_s - R_m)$$

$$= A \{ [V'_{bc}/I_{ba'}] - R_m - [V_{bc}/I_{aa'} \cdot \ln(4(s/d)-1)/2 \ln 2] \} \quad (9)$$

이다.

식(4)의 근사형은 $R \gg R_m$ 일 때 타당하다. 이 조건은 $\phi(x)$ 와 ρ_c 방정식을 이용하면

$$y \ll 2 / \ln[4(s/d)-1] \quad (10)$$

이다.

이 논문에서는 수정된 four point method를 이용하여 전류 $I_{aa'}$ 를 a점과 a'점사이에서 일정하게 흐르게하고 b와 c사이의 전압 V_{bc} 와 a와 b사이의 전압 V_{ab} 를 측정하여 contact a에 대해

$$\rho_c = A / I_{aa'} \{ V_{ab} - R_m - V_{bc} [\ln(3s/d)-0.5] / 2 \ln 2 \} \quad (11)$$

으로 SCR을 구하였다.

식(4)의 경우는 전압측정단이 고정되나 이 경우는 전류 인가단과 전위 분포가 고정되며 V_{ab} 에 포함된 series resistance가 V'_{bc} 에서보다 작기에 매우 적은 contact resistance도 정확히 측정할 수 있었다.

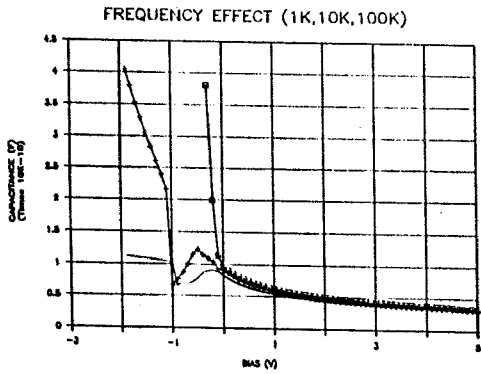


그림 2 Schottky diode의 주파수에 따른 C-V 특성.

그림 2에서 저주파(1K Hz)의 경우 공핍층내에서 소수 캐리어가 발생하여 결과로 커패시턴스는 점차 증가 하지만 고주파(100K Hz)의 경우, 공핍층내의 소수캐리어가 주파수에 응답하지 못하여 커패시턴스는 일정한 값을 유지함을 볼 수 있다.

표1 인가전압과 온도에 따른 저항

	BIAS(V)		ΔR
	- 5	5	
500 °C	23 Ω	23.5 Ω	0.5
450 °C	112 Ω	116 Ω	4
400 °C	133 Ω	141 Ω	7
350 °C	2K Ω	34K Ω	32 K
300 °C	3.6K Ω	2M Ω	1.9M

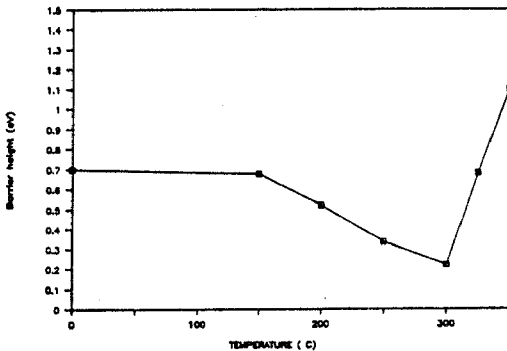


그림 3 온도에 따른 barrier의 높이

표 1에서, 400 °C이상의 열처리에서 온도가 높아 질수록 bias에 따른 저항값의 변화폭이 작아지고 500 °C에서는 인가전압에 무관하게 일정한 저항특성을 보인다 이는 고온 열처리가 Al을 wafer 내로 빠르게 확산 시킴으로서 더 이상의 정류성 접촉특성을 나타내지 못한다고 생각된다. 또한 그림 3에 나타난 300 °C 이상의 Schottky barrier의 높이는 온도가 높아짐에 따라 ohmic 특성을 보이므로 고온

열처리된 소자의 장벽높이는 더이상 C-V 방법으로는 구할 수 없음을 알 수 있다.

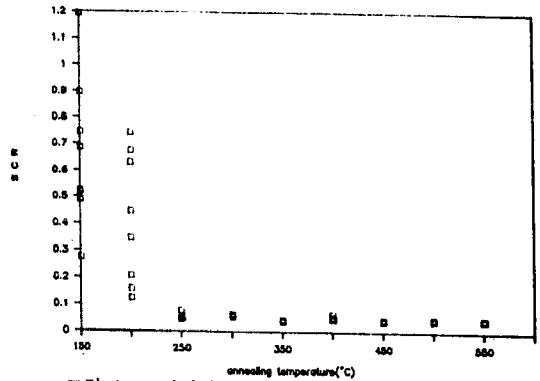


그림 4 열처리 온도에 따른 contact의 SCR

그림 4에서 저온열처리(< 300°C)시에는 SCR의 측정폭이 $\pm 0.5 \Omega \text{cm}^2$ 로 심하여 재현성이 없고 조절이 불가능하지만 고온열처리(> 350°C)시에는 의 측정폭이 $\pm 0.03 \Omega \text{cm}^2$ 으로 거의 일정하여 재현성이 있음을 알 수 있으며 가능한 낮은 열처리가 요구되는 공정상 문제로 350°C의 열처리를 써 필을 만든 낮은 SCR을 얻을 수 있다고 생각된다.

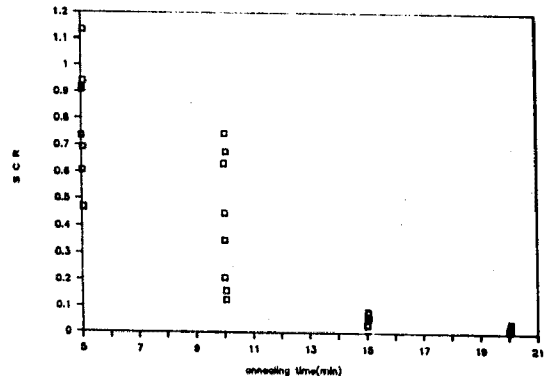


그림 5 열처리 시간에 따른 SCR 특성

그림 5에서 200°C의 경우는 시간이 점차 증가함에 따라 안정된 SCR의 특성을 보이고 있다.

4 결론

본 논문에서 연구된 열처리에 따른 barrier 높이는 고온에서 비교적 낮은 값으로 측정되었으나, 500°C 이상의 온도에서는 Al의 확산으로 ohmic 특성을 보이며 그에 따른 커패시턴스의 값은 측정하기 어려웠다. 또한 인가전압에 관계없이 거의 일정한 낮은 저항의 ohmic contact을 만들 수 있었다. 이상으로 Al-Si contact은 열처리 온도, 시간 등의 조건에 따라 SCR 및 장벽높이가 크게 변화함을 알 수 있었다. contact을 형성하는 열처리는 공정상 낮은 온도가 요구됨에 200°C에서 15분이나

350°C 에서 10 분 이하의 조건하에서 신뢰성 있는 ohmic contact 의 형성이 가능하므로 저온 열처리의 응용이 기대된다.

참고 문헌

- [1] Simon S.Cohen , " Metal-Semiconductor Contacts and Devices" , VLSI Electronics microstructure Science Vol. 13 , Academic Press ,1986
- [2] G.Brezeanu , C.Cabuz , D.Dascalu , P.Dan , "A computer method for the chracterization of surface-layer ohmic contacts" ,Solid-State Elect.Vol. 30, pp527-532 . 1987
- [3] E.kuphal , " Low resistance ohmic contacts to n-and p-InP" , Solid-State Elect. Vol. 24 , pp69-78 , 1981
- [4] H.C.Card , " Aluminum-Silicon schottky Barrier and Ohmic contacts in Integrated Circuits " , IEEE Trans. Electron devices , ED-23 ,pp538-544 ,1976
- [5] A.Plotrowska, A.Guivarch and G.Pelous , "Ohmic contacts to III-V Compound Semiconductors", Solid-State Elect. Vol. 26,pp 179 , 1982
- [6] Y. K. Fang, C.Y.Chang and Y. K. Su, Solid-State Elect.,22, pp 933 1979