

금속 구조 변화에 따른 선택 화학기상증착 W Plug의 접합 신뢰성 연구

(The Effects of Metal Structure on the Junction Stability of Sub-micron Contacts Using Selective CVD-W Plug)

崔 璞 根*, 金 春 煥*, 朴 興 洛*, 高 哲 基*

(Kyeong Keun Choi, Choon Hwan Kim, Heung Lak Park and Chul Gi Ko)

要 約

배선 plug 공정으로 선택 W 증착 공정이 널리 사용되고 있지만 W plug의 failure 메카니즘에 대한 자세한 연구는 없었다. 본 논문은 선택 CVD-W plug을 이용한 미세 콘택의 AlSiCu, Ti/AlSiCu 그리고 TiN/AlSiCu 금속선에 대하여 열적 안정성과 접합 failure 메카니즘에 대해 관찰하였다. 실험결과 어닐링 후 AlSiCu와 Ti/AlSiCu 구조에서 콘택 체인 저항과 접합누설전류가 상당히 열화되었다. SEM 관찰결과 이때 열화는 Al원자들이 선택 CVD-W과 콘택 계면 사이로 확산하여 junction spiking이 일어나 접합 fail를 일으키기 때문으로 확인되었다. 반면 TiN/AlSiCu 금속 구조에서는 콘택 저항과 접합누설전류의 열화가 없었다. 이것은 TiN barrier 층이 Al(Ti) 원자들의 확산을 방지하기 때문이다. 본 실험결과 선택 CVD-W이 사용되는 미세 콘택의 열적 안정성을 증대시키기 위해서는 W plug와 Al 사이에 TiN barrier가 사용되어야 함을 알 수 있었다.

Abstract

The junction failure mechanism of W plugs has not been fully understood while the selective W deposition has been widely used for plugging interconnection lines. In this paper, the thermal stability and junction failure mechanism of sub-micron contacts using selective CVD-W plugs were intensively studied with the metal lines of AlSiCu, Ti/AlSiCu and TiN/AlSiCu. The experimental results showed that the contact chain resistance and leakage current in the AlSiCu and Ti/AlSiCu metallizations were significantly degraded after annealing. From the SEM analysis, it was found that the junction spiking, due to the Al atoms diffusion along the porous interface between selective CVD-W and contacts side wall, caused the junction failure. In contrast, there was no degradation of the contact resistance and junction leakage current in TiN/AlSiCu metal structure. It is believed that the TiN barrier layer could prevent Al(Ti) atoms from diffusing. Therefore, TiN barrier between W plug and Al should be used to improve the thermal stability of sub-micron contacts using the selective CVD-W plugs.

I. 서 론

* 正會員, 現代電子(株) 半導體 研究所

HYUNDAI Electronics Industries Co., Ltd.
Semiconductor Research and Development
Laboratories.

接受日字 : 1993年 6月 2日

ULSI 시대가 도래함에 따라 미세 콘택(contact)에서 금속층의 충돌 힘 열화 현상을 억제할 수 있는 콘택 plug 형성 기술은 그 중요성이 점점 증대되고 있다. 특히 선택 화학 기상 증착법^{[1] [2]}을 이용한 선

택 W plug 형성 기술은 전면(blanket) W 증착 및 에치백(etch back) 공정에 의한 plug 형성 공정에 비해 공정의 수가 작기 때문에 제조 비용이 낮다는 장점을 지니고 있다. 본 연구에서는 선택 증착법에 의해 W plug을 형성시킨 미세 콘택에서 콘택 저항값 및 접합누설전류 특성의 고온 안정성을 조사하였고 실제 소자에서 발생하는 접합 특성의 파괴 원인 규명 및 그 파괴 방지 대책에 대하여 연구하였다.

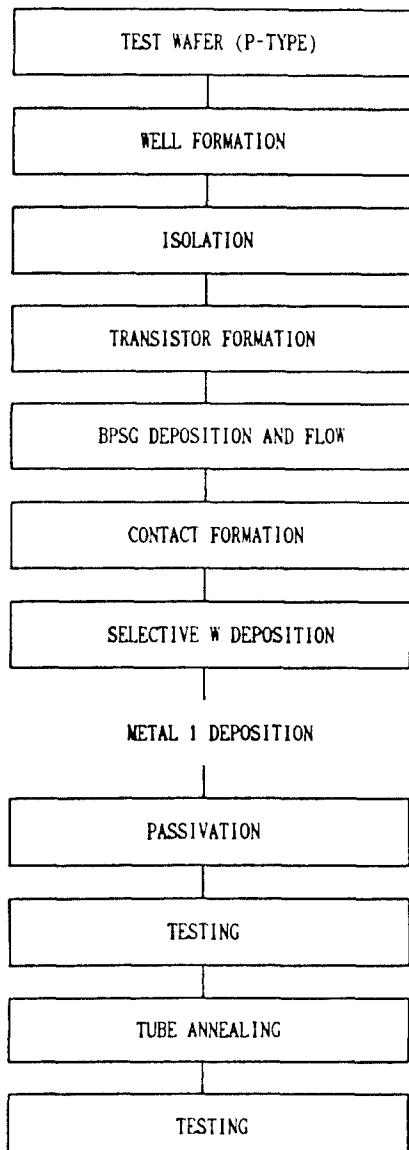


그림 1. 시편의 준비 절차

Fig. 1. Sequence of sample preparation.

II. 실험 방법

시편의 제작 순서는 그림 1과 같다. 먼저 n-p well과 LOCOS isolation을 형성한 뒤 n-p active 영역을 형성하였다. n-p 영역은 As를 6.0×10^{15} ions/cm², 40 KeV, p 영역은 BF₂를 3×10^{15} ions/cm², 50 KeV로 주입한 후 850°C에서 어닐링 공정을 수행하였다. 그 후 undoped 산화막(oxide)과 BPSG를 각각 1000 Å, 8000 Å 증착한 후 850°C 열공정(flow) 공정을 거쳤으며 노광, 식각 공정을 이용하여 콘택을 형성하였다. 이 때 n-p 접합의 두께는 0.15 μm 이었다. 이와 같이 형성된 콘택에 저압 화학 기상 증착법을 통해 5000 Å 두께의 텅스텐 plug을 형성한 후 스퍼터링(sputtering) 방법으로 금속 배선층을 형성하였다. 이 때 금속층은 금속 배선 구조가 콘택의 열적 안정성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 등으로 나누어 증착하였다. 그 후 노광/식각 공정을 통해 금속선을 형성했으며, 최종 보호막으로서 PECVD 방법을 이용하여 SixNy를 3000 Å 증착하였다. 이와 같이 형성된 시편의 열공정에 따른 콘택의 안정성을 조사하기 위하여 500°C, N₂ 분위기에서 1 주일 동안 어닐링 하면서 콘택 저항값 및 접합누설전류 특성을 조사하였다. 이 때 콘택 저항 및 접합누설전류 특성은 10 K 개의 콘택으로 구성된 콘택체인(contact chain)에서 측정하였다.

III. 실험 결과 및 고찰

1. 미세 콘택의 열적 안정성

그림 2는 n-p 콘택에 5000 Å의 W을 선택 증착시킨 후 그 위에 Al-1%Si-0.5%Cu을 약 5500 Å 증착시켜서 제작한 시편을 500°C, N₂ 분위기에서 어닐링 함에 따른 접합부분에서의 누설전류 특성의 열화 현상을 보여주고 있다. 시편을 90분간 까지 어닐링하였을 때는 접합누설전류 특성에서 큰 변화는 없었으나 약 21시간의 어닐링 후에는 n-p 콘택에서 누설전류 특성이 급격히 악화되었음을 알 수 있다. 이와 같은 접합누설전류 특성이 고온 열처리에 따라 악화되는 원인을 조사하기 위하여, 21시간 어닐링 후의 시편을 decap 하였다. Al과 W을 화학적 식각 방법에 의해 제거한 후 콘택 부분을 SEM으로 관찰하였으며, 그 결과를 그림 3에 나타내었다. 그림 3에서 보듯이 접합누설전류 특성이 악화된 시편의 콘택체인에서는 junction spiking이 관찰되었으며, 이와 같은 junction spiking 현상이 접합누설전류 특성 악화의 원인이라고 사료된다.

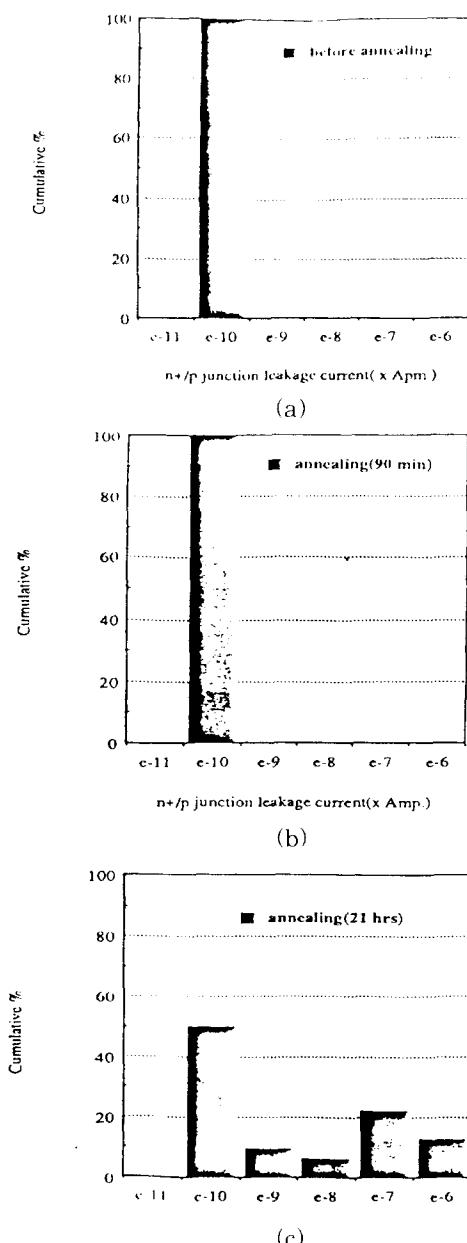


그림 2. W/A1 구조의 어닐링 시간 증가에 따른 n+/p 접합누설전류값의 변화거동 (a) 어닐링 전 (b) 90분 어닐링 (c) 후 21시간 어닐링 후

Fig. 2. Behavior of n+/p junction leakage current values as a function of annealing time for W/A1 structure (a) before annealing (b) after 90min. annealing (c) after 21hours annealing.

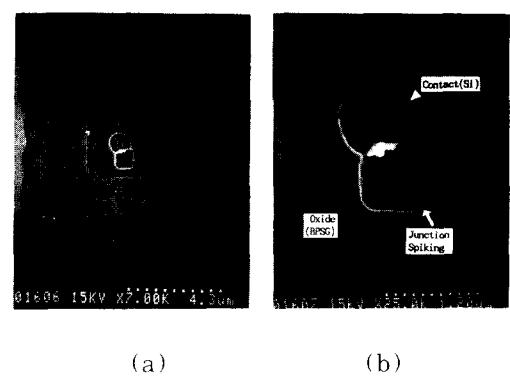


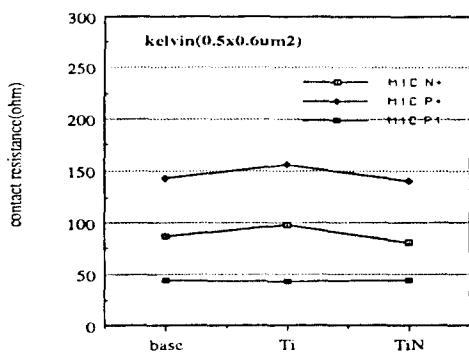
그림 3. 어닐링 후 W/A1 구조의 콘택 체인에서 관찰된 Junction Spiking SEM 사진
(a) 저배율 (b) 고배율

Fig. 3. SEM photographs of junction spiking observed at the contact chain in W/A1 structure after annealing (a) Low magnification (b) High magnification.

2. 금속 배선 구조와 콘택의 열적 안정성 조사

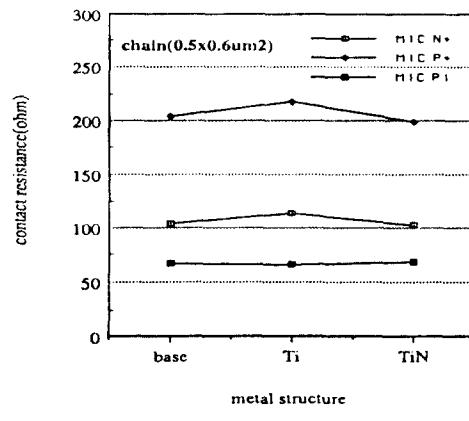
위에서 관찰된 junction spiking의 발생 원인을 조사하기 위하여 선택 W plug 위에 금속 배선 구조를 W-plug/Al-Si-Cu(5500 Å), W-plug/Ti (1000 Å)/Al-Si-Cu (5500 Å), W-plug/TiN (1000 Å)/Al-Si-Cu (5500 Å)으로 나누어 형성하였다. 그후 500°C, 일주일간 어닐링 처리에 따라 콘택체인에서 저항값 및 접합누설전류의 열화 현상을 조사하였으며, 그 결과는 그림 4와 5에 나타내었다. 그림 4는 각 금속 구조에 따라 어닐링전에 측정된 콘택 저항값들로써, 콘택체인이나 kelvin 값에서 금속 구조에 따라 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 그림4에서 M1C N은 n' 콘택 체인, M1C P'는 p' 콘택 체인 그리고 M1C P1은 poly 1(poly Si) 콘택 체인과 금속1의 접촉 저항을 보여주고 있다. 그림 5에서는 접합누설전류 특성을 보여주고 있다. 어닐링전에는 금속 구조의 변화에 대하여 콘택 저항값과 마찬가지로 콘택에서의 접합누설전류 특성도 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 그러나 500°C, 일주일간의 어닐링 후에는 접합누설전류 특성이 W/Al-Si-Cu 및 W/Ti/Al-Si-Cu 구조에서는 급격히 악화되었으나, W/TiN/Al-Si-Cu에서는 거의 변화가 없음을 알 수 있다. 이때 W/Ti/Al-Si-Cu 구조에서 접합누설전류가 급격히 악화되시편을 decap 하여 콘택 부위를 관찰한 결과 역시 그림 3과 같이 콘택의 주위에서 junction spiking이 발생되어 있음을

관찰할 수 있었다.



metal structure

(a)

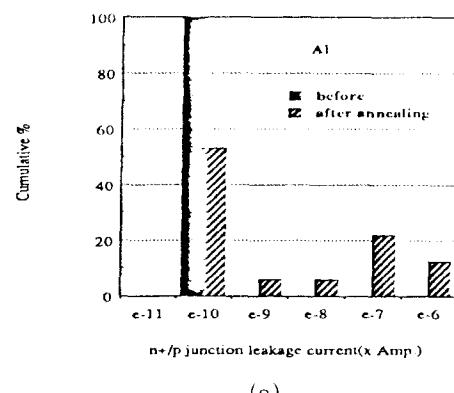


metal structure

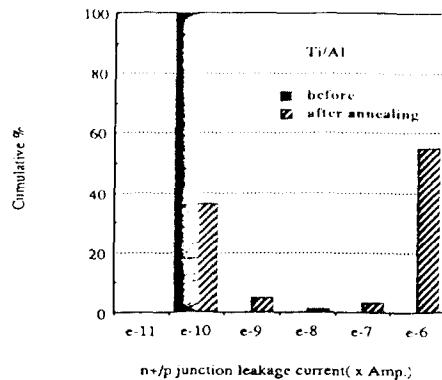
(b)

그림 4. 금속 구조에 따른 각 부위의 콘택사항

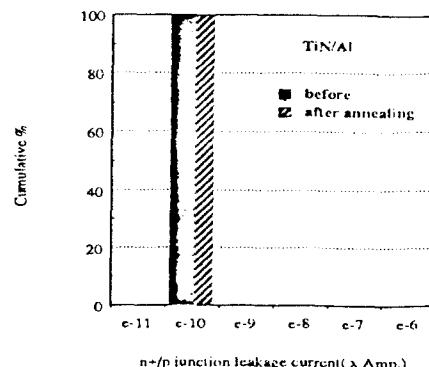
(a) Kelvin 저항 (b) 콘택 체인 저항

Fig. 4. Contact resistance as a function of metal structure. (a) kelvin resistance
(b) contact chain resistance.

(a)



(b)



(c)

그림 5. 어닐링 후 각 금속층 구조의 n'/p 접합누설전류값 변화 (a) Al (b) Ti/AI

(c) TiN/AI

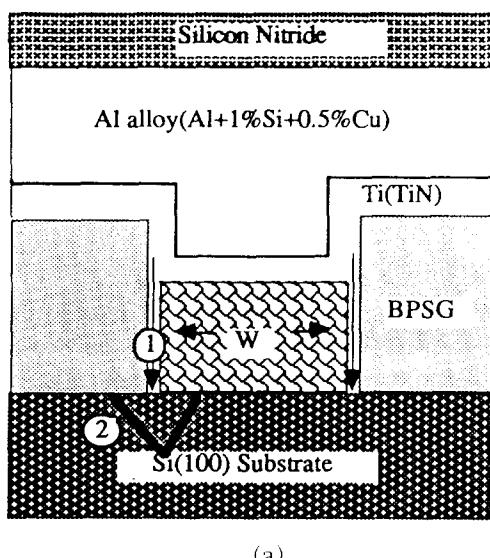
Fig. 5. The changes of n'/p junction leakage current for each metal structures after the annealing.

(a) Al (b) Ti/AI (c) TiN/AI.

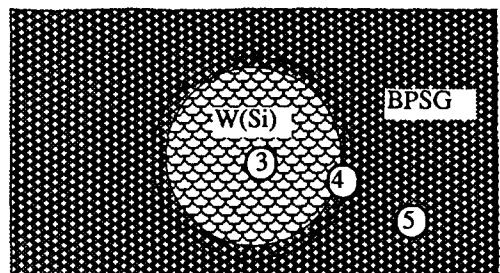
3. 접합누설전류 특성 열화 기구 고찰

실험 결과들을 토대로 하여 선택 W plug을 적용한 미세 콘택에서의 열적 안정성의 파괴 기구에 대하여 고찰하고자 한다. 500°C의 고온 공정후 접합누설 전류의 악화(열화) 현상은 W/Si 계면에서의 junction spiking 현상에 의해 유발되었다. 이와같은 junction spiking 현상은 W/Si 계면에서 W-Si 간의 silicidation 반응에 의해 Si 접합영역이 파괴되었거나, W/Si 계면으로 Al 원자의 확산에 의한 Al-

Si 간의 고용화 현상에 의해 Si 접합 영역이 파괴되었다고 가정할 수 있다.^{[3][4]} 그러나 이중 첫번째 원인은 500°C 이하의 온도에서 W plug을 사용한 접합(junction)의 fail 원인으로는 적합치 않다고 사료된다. 왜냐하면 그림 5에서 알 수 있듯이 W과 Al 합금 사이에 TiN을 barrier layer로 적용한 시편에서는 콘택 특성의 열화가 없었기 때문이다. 즉, 콘택 특성의 열화 현상은 W과 Si 계면에서의 W의 silicidation 현상이 아니라, W-SiO₂ 계면으로 이동해온 Al과 Si 간의 고용 반응 현상 때문이므로 TiN을 적용한 시편들에서는 열화 현상이 없는 것이다. 선택 W plug을 형성한 콘택에서의 콘택 특성 열화 현상에 대해 개략도를 그림 6에 나타내었다. 그림 6-(a)는 콘택 홀 단면을 보여주고, 그림 6-(b)는 위에서 바라본 콘택 홀의 평면도를 보여 주고 있다. 선택 W은 Si 표면에서 W이핵 생성되어 성장하는데 이때 성장된 W plug와 콘택의 측벽인 산화막(BPSG)간의 계면은 화학적 결합이 없고 접착력도 약한 매우 porous한 계면(그림 6-(b)에서 4 부위)이라고 예상된다. 따라서 500°C 이하의 온도에서 장시간 열처리 시에는 plug 위에 증착된 Al원자(atom)들이, 이와 같이 porous한 W-SiO₂ 계면을 통해 W/Si 계면으로 확산되어, W/Si 계면에서 Si와 Al이 고용체를 형성함으로써 Si의 접합 특성이 악화된다고 사료된다. 반면, W plug을 사용하지 않고 Al 스퍼터링(Ti/TiN/Al 합금)만으로 콘택을 배울 경우 junction spiking은 그림 7과 같이 산화막과 콘택 계면에서 일어나지 않고 콘택 홀내에서 일어남을 알 수 있다.



(a)



(b)

- ① : Al Atoms Flow direction
- ② : Junction Spiking ③ : Contact Hole
- ④ : Weak Region ⑤ : Oxide

그림 6. 콘택에서 junction spiking 발생 과정의 도해 (a) 단면도 (b) 평면도

Fig. 6. Schematic diagram on the process of junction spiking at contact.
(a) Cross-sectional view (b) Top view.

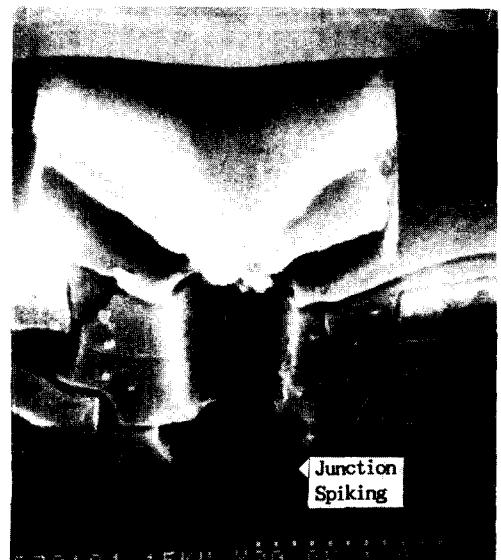


그림 7. 스퍼터 Al 합금의 junction spiking SEM 사진

Fig. 7. SEM micro-graph of junction spiking on the sputtered Al alloy.

위와 같은 추론은 그림 3과 같이 접합누설 전류특성이 악화된 시편에서는 콘택 측벽과 접합, Si 영역에서 모두 junction spiking이 생성 된다는 사실로 입

증 될 수 있다. 한편 Al의 확산을 방지할 수 있는 barrier금속으로서 W plug^[5]과 Al-Si-Cu 층사이에 TiN을 증착한 시편에서는 TiN의 존재로 인해, Al이 W/Si 계면으로 확산이 억제되기 때문에 접합누설전류 특성의 악화가 없다고 생각된다. 한편, W과 Al-Si-Cu 사이에 Ti를 사용한 경우는 어널링한 후에 심각한 열화 현상을 나타내었는데, 이것은 Ti 층이 고온 공정중에 Al과 반응하여 $TiAl_3$ ^{[6], [7]}를 형성하면서 전부 소모되고 이러한 $TiAl_3$ 층이 Al의 확산장벽(diffusion barrier) 역할을 전혀 못하기 때문이라 사료된다.

이상의 결과들로 부터 선택 W plug을 사용한 미세 콘택의 접합누설전류 특성 악화는 500°C 이하의 온도에서 W/Si 계면에서의 W의 silicidation 보다는 W plug 위의 Al 합금에서 Al 원자들이 콘택 측벽을 통해 W/Si 계면으로 이동하여 Al과 Si가 고용현상을 일으키기 때문이라고 결론 지을수 있다.

IV. 결 론

미세 콘택에 선택 증착법에 의해 증착된 W plug을 적용할 경우, 500°C 이하의 온도에서 장시간 어널링하면서 관찰되는 접합누설전류 열화 현상은 W plug 위의 Al 원자들이 W plug와 콘택 측벽의 계면을 통해 확산되어, W/Si 계면에서 Si와 고용체를 형성하기 때문이라 사료된다. 따라서 선택 W plug을 적용하는 소자의 콘택 특성의 신뢰성을 향상시키기 위해서는 콘택 측벽을 통한 Al의 확산을 방지할 수 있는 TiN barrier금속을 W plug와 Al 합금층 사이에 형성시키는 것이 바람직하다.

参考文獻

- [1] K.K. Choi, S.B. Hwang, H.L. Park and C.G. Ko, "A new selective W-CVD process using poly Si glue layer", proc.,

- ninth int., IEEE VMIC, june, 1992, pp. 286 ~288.
[2] 최경근, 황성보, 박홍락, 고철기, "접합층을 이용한 선택 텅스텐 화학기상증착 공정 연구", 대한전자공학회, 제29권 A편 12호, 1992년, pp.110-117.
[3] T. Fujii and T. Fujita, "Leakage degradatation in n+ Si contact filled with selective chemical vapor deposition tungsten plug due to aluminum diffusion along the plug side wall", J. Electrochem. Soc., Vol., 139, No. 3, March, 1992, pp. 835~839.
[4] M. Hammar, L.L. Zhang, R. Buchta and T. Johansson, "Investigation of chemically vapour deposited tungsten and tungsten silicide as contacts to n+ and p+ silicon areas", thin solid films, 185, 1990, pp. 9-19.
[5] Y. Oshimi Suoya, Mamoru Maeda and Kimio Yanagida, "Barrier effect of selective chemical vapor deposited tungsten films", J. Vac. Sci. Technol., B4(5), 1986, pp. 1175~1179.
[6] R.K. Nahar, N.M. Devashrayee and W.S. Khokle, "Diffusivity of Al in Ti and the effect of Si doping for very large scale integrated circuit interconnect metallization", J. Vac. Sci. Technol., B6(3), May/Jun., 1988, pp. 880~883.
[7] Y. Komem, "The microstructure and electrical properties of contacts formed in the Ti/Al/Si system due to rapid thermal processing", J. Appl. Phys., 67(6), 15. March, 1990, pp. 3003~3010.

著者紹介

金 春 煥(正會員)



1967年 4月 4日生 . 1990年 2月
고려대학교 재료공학과 학사 학위
취득. 1992年 2月 고려대학교 재
료공학과 석사 학위 취득. 1992年
1月 부터 현재까지 현대전자 반도
체 제 1연구소 주임 연구원. 주관
심 분야는 화학 기상 증착법에 의한 금속화 공정 등
임.

崔 璞 根(正會員) 第 29卷 A編 第 12號 參照

현대전자(주) 반도체 제 1연구소
주임 연구원

朴 興 洛(正會員) 第 29卷 A編 第 12號 參照

현대전자(주) 반도체 제 1연구소
책임 연구원

高 哲 基(正會員) 第 29卷 A編 第 12號 參照

현대전자(주) 반도체 제 1연구소
수석 연구원