

Dopant가 주입된 poly-Si 기판에서 Ta-silicides의 형성 및 dopant의 거동에 관한 연구

최진석, 조현춘, 황유상, 고철기*, 백수현

한양대학교 재료공학과, *현대전자 연구소

Study on the formation of Ta-silicides and the behavior of dopants implanted in the poly-Si substrates

Cho Hyun Choon, Hwang Yoo Sang, Choi Jin Seok, Ko Chul Gi*, Paek Su Hyon

Dept. of Materials Eng. Hanyang Univ.

*Hyundai Electronics Semiconductor R & D Lab.

초 록 Ta-silicide의 게이트 전극 및 비트라인(bit line)으로의 사용가능성을 알아보기 위하여 As, P, BF₂가 5×10¹⁵cm⁻²의 농도로 이온주입된 다결정 실리콘에 탄탈륨을 스퍼터링으로 증착한 후 급속 열처리로 Ta-silicide를 형성하였다. 형성된 Ta-silicide의 특성은 4-탐침법, X-ray회절, SEM 단면사진과 α-step으로 조사하였으며, 불순물들의 거동은 Secondary Ion Mass Spectroscopy(SIMS)로 알아보았다. TaSi₂의 형성은 800°C에서 시작하며 1000°C 이상에서 완료됨을 알았다. 형성된 TaSi₂의 표면 거칠기는 우수한 특성을 나타내었으며 RTA처리시 이온 주입된 불순물들은 형성되는 TaSi₂ 층으로 out-diffusion하였다.

Abstract Tantalum thin films have been prepared by DC sputtering onto As, P, and BF₂-implanted (5×10¹⁵cm⁻²) poly-silicon. The heat treatments by rapid thermal annealing(RTA) have been applied to these samples for the formation of silicides. We have studied the application possibility of Ta-silicide as gate electrode and bit line. The silicide formation and the dopant diffusion after the heat treatment were investigated by various methods, such as four-point probe, X-ray, SEM cross sectional views, α-step, and SIMS. The tantalum disilicide(TaSi₂) are formed in the temperature above 800°C, and grow in columnar structure. TaSi₂ has a good surface roughness, having range from 80 Å to 120 Å, and implanted dopants are incorporated into the TaSi₂ layer during the RTA temperature.

I. 서 론

ULSI급으로 집적도가 증가함에 따라 gate 전극 및 배선재료로 사용되어 오던 poly-Si은 그들의 높은 비저항(>500μΩ-cm)으로 인하여 회로의 동작속도를 낮추어 집적도 증가의 한계에 대한 큰 인자로 작용하고 있다.⁽¹⁾ 따라서 poly-Si의 성질을 유지하면서 비저항을 낮출 수 있는 새로운 배선재료와 source/drain의 면저항을 감소시킬 수 있는 contact metallization으로 silicides가 대두되었다.⁽²⁻³⁾ 이와 같은 silicide 물질로서 Ta이 큰 관심을 끌고있다.⁽⁴⁾ 본 연구실에서도 다결정 실리콘

기판에 금속 Ta를 sputter로 증착한 후, Ar분위기에서 급속 열처리(RTA)할때 Ta-silicides의 형성반응 및 전기적·기계적 특성을 조사한 바 있다.^(5, 6)

그러나 Ta-silicide를 게이트전극과 비트라인에 적용하기 위해서는 다결정 실리콘 위에서 특성 조사가 필요하다. 또한 저항을 낮추기 위하여 이온 주입된 불순물들의 거동과 이에 따른 형성 특성 및 사진식각 공정에서 문제가 되는 표면거칠기에 대한 영향을 조사하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 gate 전극 및 bit line 형성시 poly-Si에 불순물을 주입한후 Ta-silicide의 형

성시 불순물들의 거동과 이에 따른 제반특성을 분석하여 게이트 전극으로서의 적용가능성을 알아보고자 한다.

II. 실험방법

1. 시편제작

비저항이 5-20 Ω -cm인 (100) p-type Si기판을 준비하였다. 이 단결정 Si 기판 위에 1000 Å의 산화막을 형성시킨후 poly-Si을 deposition한 후 불순물(As, P, BF₂)을 projection range를 같이하기 위하여 As는 40keV, P는 20keV, BF₂는 50keV로 $5 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ 를 각각 주입하였다. 불순물을 주입한 후 Si기판의 표면에 형성된 손상을 제거하고 불순물들의 활성화를 위하여 900°C에서 30분간 N₂분위기에서 furnace annealing하였다.

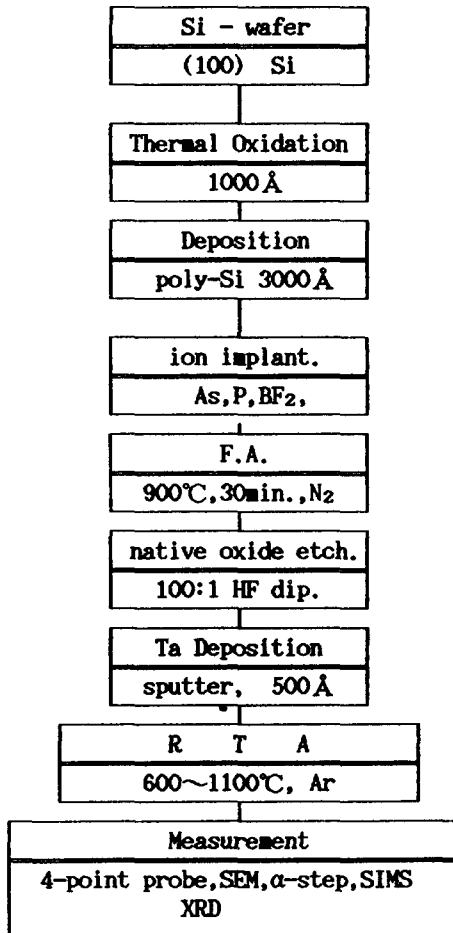


Fig. 1 Flow chart of process

불순물 주입후 형성된 자연산화물은 100 : 1 HF 용액에서 제거하였다. 그후, tantalum을 스퍼터장치로 500 Å 정도 증착하였다. 증착된 tantalum과 다결정 Si 기판의 상호작용에 의한 Ta-silicide를 형성하기 위하여 Ar분위기에서 600°C, 800°C, 1000°C, 1100°C의 온도로 20초동안 급속 열처리하였다.

시편 제작 공정도는 그림 1.에 나타내었다.

2. 측 정

RTA온도에 따른 불순물의 종류 및 농도가 각각 Ta-silicides의 형성 및 특성에 미치는 영향과 형성시의 불순물의 거동에 대하여 조사하였다.

Silicides박막의 형성과정을 분석하기 위하여 X-ray diffractometer(1.542 Å Cu K α , 40kV, 50mA)를 사용하였다. 형성된 silicides 박막의 두께와 surface roughness를 관찰하기 위하여, α -step과 SEM(cross sectional view, X100,000)을 사용하였다. 또한 silicides박막의 면저항값을 4-point probe로 측정하여 분석하였다. RTA에 따른 불순물의 분포는 SIMS로 관찰하였다.

III. 결 과

1. Ta-silicides 형성에 미치는 불순물 (As, P, BF₂)의 영향

다결정 실리콘 기판위에서 600°C, 800°C, 1000°C, 1100°C의 온도로 각각 열처리하여 형성한 Ta-silicide의 면저항값을 그림 2에 나타냈었다.

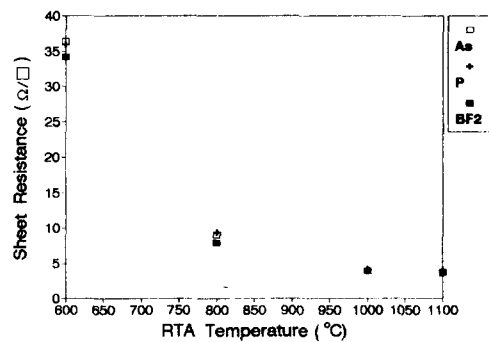


Fig 2. Sheet resistance of Ta-silicides with RTA temperature for specimens implanted $5 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ of dopants on poly-Si

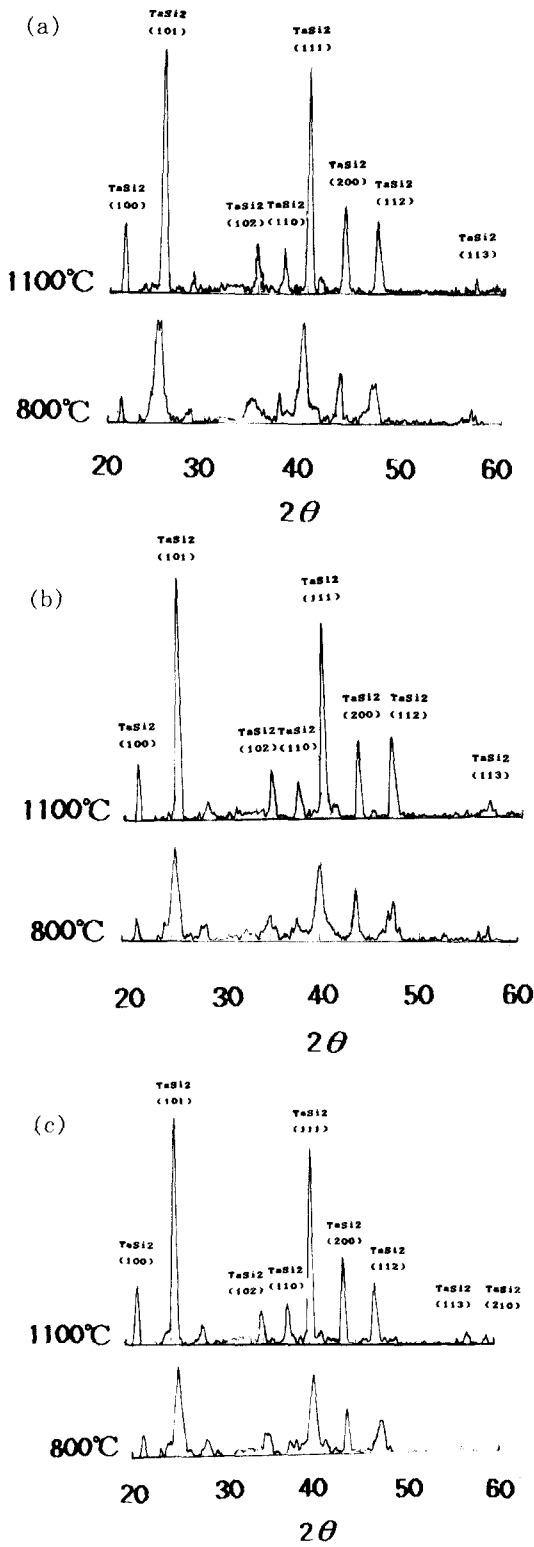


Fig. 3(a). X-ray diffraction peaks of Ta-sili-

cides with RTA temperature for specimens implanted $5 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ of As on poly-Si

Fig. 3(b). X-ray diffraction peaks of Ta-silicides with RTA temperature for specimens implanted $5 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ of P on poly-Si

Fig. 3(c). X-ray diffraction peaks of Ta-silicides with RTA temperature for specimens implanted $5 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ of BF₂ on poly-Si

그림 2에서 불순물의 종류에 관계없이 열처리온도의 증가에 따라 면저항 값이 감소하며, 또한 불순물의 종류에 따라서 면저항값의 차이는 거의 없다는 것을 알 수 있다. 800°C에서 열처리된 시편은 면저항값이 급격히 감소하고 있는데 이는 증착된 Ta금속과 다결정실리콘 기판과의 반응에 의해서 새로운 상(phase)인 Ta-silicide가 형성되기 때문이라 생각된다. 또한 1000°C와 1100°C에서 열처리된 시편의 경우, 불순물의 종류에 관계없이 면저항값의 변화가 거의 없는데 이는 1000°C 이상에서 안정한 TaSi₂의 형성이 완성되는 것을 의미한다. 이와같은 결과는 단결정 실리콘 기판에서 얻은결과⁽⁶⁾와 일치하고 있는데 이는 Ta금속과 실리콘이 반응해서 Ta-silicide가 형성되는 것은 실리콘의 확산속도 보다도 반응온도에 크게 의존하기⁽⁷⁾때문이라 생각된다. 그림 3의 (a), (b) 및 (c)는 As, P, 및 BF₂를 이온주입한후 800°C와 1100°C에서 열처리된 시편의 X-ray 회절부너를 각각 나타낸것이다.

그림에는 나타내지 않았지만 sputter로 증착된 상태의 film는 특성 peak가 없는 것으로 보아 비정질상태라 생각되며, 600°C와 700°C에서 열처리된 시편에서는 sputter로 증착된 비정질 Ta금속이 결정화해서 Ta peak가 약하게 나타나는 것을 보여주었다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 800°C에서 열처리된 시편의 경우에는 불순물의 종류에 관계없이 hexagonal 구조인 TaSi₂ peak가 나타나고 있으며, 1100°C에서 열처리된 시편에서는 TaSi₂ peak의 intensity가 크게 증가한 것으로 보아 증착된 Ta금속이 다결정실리콘과 반응해서 전부 TaSi₂로 상전이가 일어났음을 알 수 있으며,

앞의 그림 2와 잘일치하고 있다. 또한 Ti-silicide의 형성과는 달리 Ta-silicide의 경우에는 초기상부터 Ta₅Si₃ 혹은 TaSi가 아닌 TaSi₂가 형성되는 것을 알 수 있다.

As, P, 및 BF₂를 이온주입한후 1100°C에서 형성된 TaSi₂의 단면사진을 그림 4에 나타내었다. 그림에서, TaSi₂는 columnar구조로 성장하고 있으며 TaSi₂와 다결정 실리콘기판과의

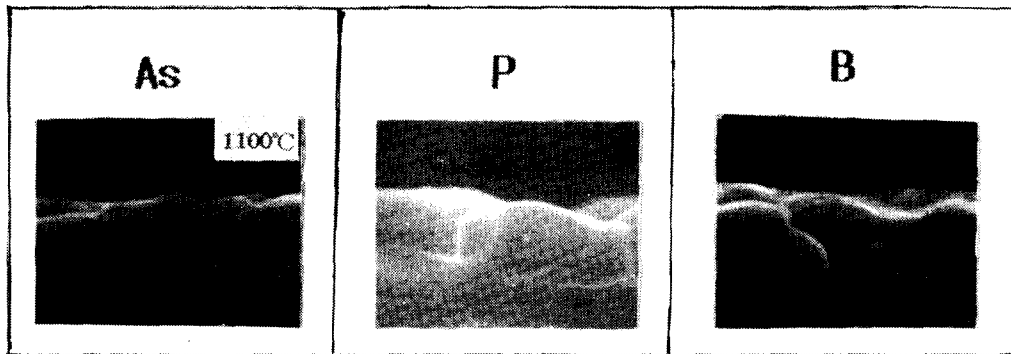


Fig. 4 SEM cross section of Ta-silicides RTA treated at 1100°C for specimens implanted $5 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ of dopants on poly-Si

경계는 단결정 실리콘기판위에서 형성된 TaSi₂의 경우보다는⁽⁵⁾ 평탄하지 않는 것을 알 수 있다. 이와같은 계면의 불안정은 접촉 저항(contact resistance)를 증가시켜 실제소자에 적용할 경우 특성에 나쁜영향을 미칠것으로 생각된다.

2. Surface Roughness

실제 소자의 적용에 있어서 문제가 되는 surface roughness에 관한 조사를 해 보았다.

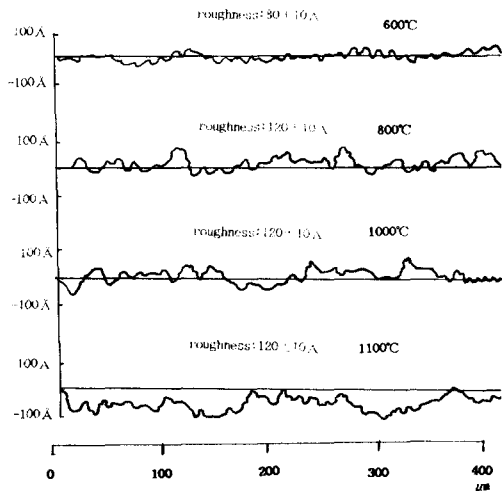


Fig. 5. surface roughness of Ta-silicides with RTA temperature for specimens implanted $5 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ of As on poly-Si

그림 5는 poly-Si에 As을 주입한 경우, RTA 온도에 따라서 형성된 Ta-silicide의 surface roughness로 나타낸것이다. 이 경우 TaSi₂가 형성되는 800°C에서부터 surface roughness가 $120 \pm 10 \text{Å}$ 정도로 커지는 것을 볼 수 있는데 이는 TaSi₂의 grain 성장에 기인한 것으로 생각된다. 그러나 1000°C와 1100°C에서 더 이상의 증가는 없고 대체로 안정한 surface roughness를 나타냄을 알 수 있다. 또한 다른 종류의 불순물에서도 이와 같은 결과를 볼 수 있었다.

3. Dopant의 거동

Ta-silicides형성을 위한 RTA처리시 Si의 Ta으로의 확산에 따른 dopant들의 거동을 보고자, poly-Si에 BF₂와 As을 주입하여 600°C와 1000°C의 RTA온도에서 Ta-silicides를 형성시킨 시편의 SIMS분석을 하여 그림 6에 나타내었다. Ta-silicides의 형성이 거의 일어나지 않은 600°C에서는 dopant들이 모두 poly-Si내에 고르게 분포하는 모양을 나타내며, TaSi₂의 형성이 완료되는 1000°C에서는 As과 B이 RTA처리시 많은 양이 TaSi₂로 out-diffusion하였으나 poly-Si내에도 다량의 dopant가 남아 있음을 볼 수 있었다. 또한 As은 B의 경우보다 많은 양이 Ta-silicides내부에 존재함을 볼 수 있었다. 이는 B의 원자반경

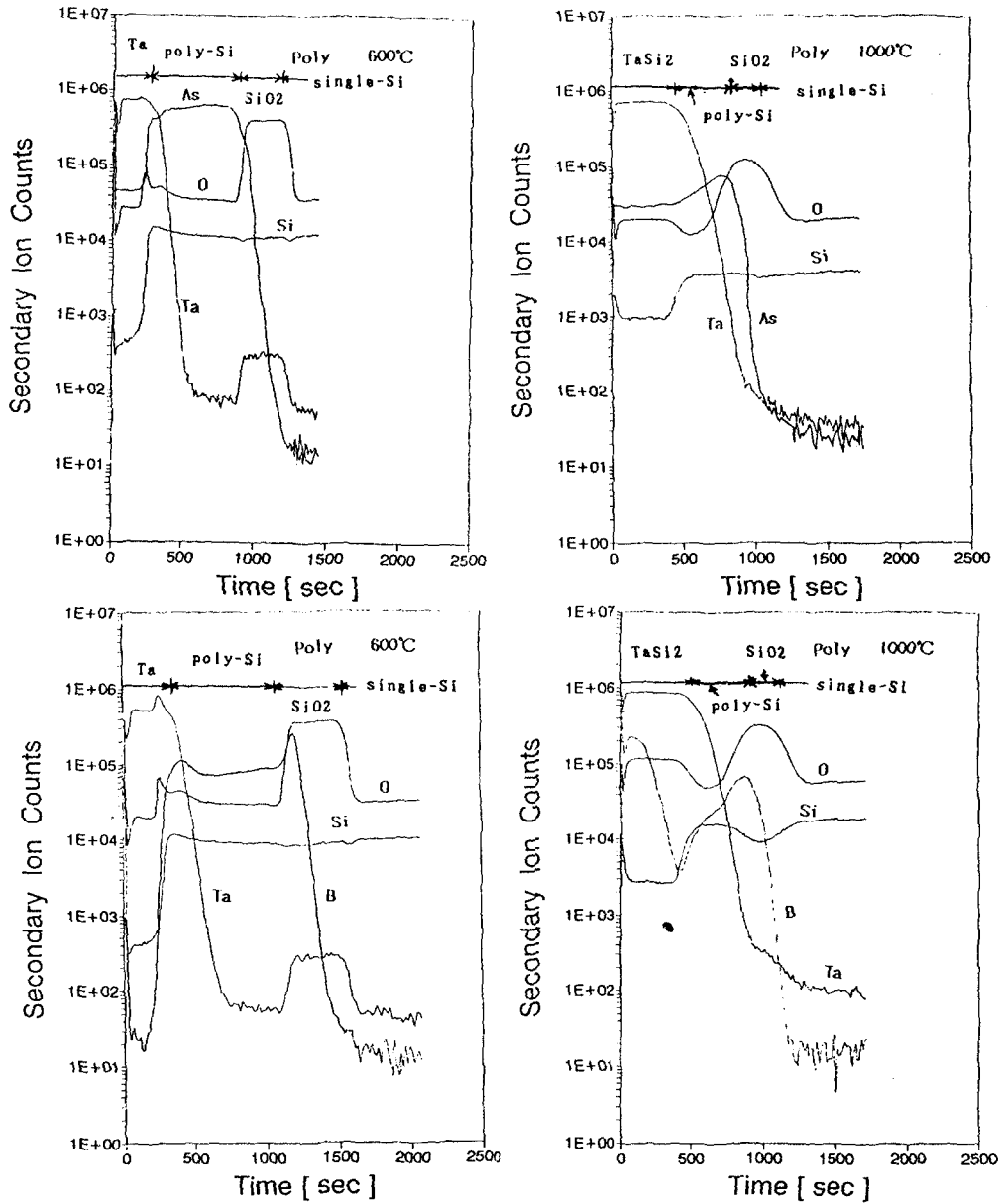


Fig. 6. SIMS profile with RTA temperature for specimens implanted $5 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ of As and BF_2 respectively on poly-Si

(0.83 Å)이 As의 원자반경(1.25 Å)보다 작아서 Ta-silicide내부에서 확산이 용이하여 TaSi₂외부로 확산해 나가기 때문인것으로 생각된다.

V. 결론

Ta-silicides는 poly-Si기판에서 800°C에서 형성되기 시작하며 1000°C이상에서 안정한 TaSi₂의 형성이 완료됨을 알았다. Ta-silicides의 형성반응은 주입된 dopant의 종류에 무관

하였다. Surface roughness는 대체로 안정하였으나, RTA온도가 증가하면서 그 값이 다소 증가함을 알 수 있었다. 1000°C에서는 As과 B이 RTA처리시 많은 양이 TaSi₂로 out-diffusion하였으며, As은 B의 보다 많은 양이 Ta-silicides내부에 존재함을 볼 수 있었다. 안정한 surface roughness와 RTA처리시 dopant들이 poly-Si내에 남아 저항값을 낮추는 역할을 할 수 있음을 고려할 때 gate electrode 및 bit line 재료로 device적용이 크게 기대된다.

VI. 참고 문헌

1. T. Yachi, "Formation of a TiSi₂/n Poly-Si Layer By Rapid Lamp Heating and Application to MOS Device", IEEE Electron Device Letters, vol. EDL-5, 7, 217, (1984)
2. S. M. Sze, "VLSI Technology" McGraw-Hill Book Company(1988)
3. S. P. Murarka, "Silicides for VLSI Applications", Academic press(1983)
4. J. Pelleg, S. P. Murka, "Phosphorous distribution in TaSi₂ Films by diffusion from a polystalline silicon layer", J. Appl. Phys. **54** (3), 1337(1983)
5. 조현춘, 최진석, 고철기, 백수현, 한국재료학회, 1(1), 17(1991)
6. 백수현, "Silicides형성에 관한 연구-1차년도 최종보고서-", 한국전자 통신 연구소, 1990
7. 伊藤陸司, 石川元, 中村廣照, "VLSI의 薄膜技術", 丸善株式會社, (1986)