

백금 확산 실리콘의 깊은 에너지 준위의 농도분포에 대한 열처리 효과

Annealing Effects on Concentration Profiles of Deep Energy Levels in Platinum-diffused Silicon

권영규^{1,a}
(Young-Kyu Kwon^{1,a})

Abstract

The concentration profiles of deep energy levels($E_c - 0.23eV$, $E_v + 0.36eV$ and $E_c - 0.23eV$) in platinum-diffused silicon have generally a sharp gradient in the vicinity of the surface of the silicon wafer. In this work two efficient methods are proposed to obtain the uniform concentration profiles throughout the silicon wafer. One is that the platinum diffusion is carried out at 1000 °C for 1h in oxygen atmosphere. In this case the values of obtained uniform concentration, $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ for the $E_c - 0.23eV$ level, and $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ for the $E_c - 0.52eV$ level, are very restricted, respectively. The other is two-step annealing process. The platinum diffusion is carried out at 850~1100 °C in a nitrogen ambient for 1h and then the annealing is performed at 1000 °C in oxygen ambient after removing platinum-source from the platinum diffused samples. The advantage of this method is that the uniform concentration of these levels required power devices can be controlled by setting the desired temperatures when the platinum diffusion is carried out in nitrogen ambient.

Key Words : Platinum, Diffusion, Annealing, Concentration profiles, Energy level

1. 서론

실리콘 단결정에 깊은 준위를 형성하는 백금은 양성자 주입법[1]과 함께 고속 스위칭 소자 또는 씨리스터 등의 스위칭 특성을 개선하기 위한 라이프 타입 킬러로써 주로 이용되고 있지만, 소자에서 요구하는 농도제어 및 소자특성의 재현성 등을 충분히 확보할 수 없는 문제점을 가지고 있다. 그것은 백금을 실리콘에 확산할 경우 확산 속도가 매우 빠르고 전기적으로 활성인 깊은 준위의 농도가 “U 자” 또는 “M 자”형태의 불균일한 분포를 나타내기 때문이다.

지금까지 실리콘에 확산된 백금에 관한 연구결과를 정리해 보면 백금은 실리콘에 $E_c - 0.23eV$, $E_c - 0.52eV$, 그리고 $E_v + 0.36eV$ 의 3개의 깊은 준위를 형성하며[2-5], 그 중에서 $E_c - 0.23eV$ 와 $E_v + 0.36eV$ 는 치환형 백금에 기인하고, $E_c - 0.52eV$ 는 백금과 격자간 산소 및 격자빈 자리 등의 격자결함과의 복합체에 기인한 것으로 밝혀져 있다[2]. 또한 이들 준위의 농도는 백금의 확산기구와 확산할 때의 분위기 가스와 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있다. 다시 말하면 실리콘에서 백금은 킥아웃(kick-out) 기구에 의해서 확산한다[2,6]. 킥아웃 기구는 매우 빠르게 실리콘 전역으로 확산한 격자간 백금이 격자 실리콘을 킥아웃 시키고 자신이 격자위치를 점유하여 치환형 백금이 된다. 이때 치환형 백금의 농도는 킥아웃 된

1. 위덕대학교 전자공학과
(경북 경주시 강동면 유금리 525)
a. Corresponding Author : ykkwon@uu.ac.kr
접수일자 : 2006. 12. 4
1차 심사 : 2007. 2. 15
심사완료 : 2007. 2. 22

격자간 실리콘의 소멸 정도에 비례한다. 고순도 실리콘의 경우 격자간 실리콘은 대부분 표면에서 소멸됨으로 표면 근방에서 키크아웃 반응은 매우 빠르게 진행되지만 시료내부에서는 확산시간의 평방근에 비례하며 치환형 백금의 농도가 포화상태에 도달하는데 50시간이상이 소요되는 것으로 알려져 있다[2,6,7]. 즉 비교적 짧은 확산 공정의 경우 치환형 백금의 농도는 표면 근방에서는 쉽게 포화상태에 도달하지만 시료내부에서는 불포화 상태임으로 “U자”형태를 나타낸다. 그리고 격자간 백금과 산소 및 격자 빈자리 등의 점결함과의 복합체에 기인하는 $E_c - 0.52eV$ 준위는 시료의 냉각과정에서 표면 근방의 농도가 급격히 감소하기 때문에 “M자” 분포를 나타내는 것으로 밝혀졌다[2]. 이와 같이 소자의 활성영역이 존재하는 표면 부근에서 깊은 준위의 농도 변화가 급격한 “U자” 또는 “M자” 형태를 나타내기 때문에 소자 특성을 균일하게 제어하는데 어려움이 있다. 따라서 백금을 확산했을 때 발생하는 이러한 결점을 개선하기 위해서는 pn접합이 형성되는 표면 근방에서 백금의 농도를 균일하게 분포시킬 필요가 있다.

본 연구에서는 웨이퍼 내에서 “U자”분포를 하는 $E_c - 0.23eV$ 준위와 “M자”분포를 하는 $E_c - 0.52eV$ 준위의 농도를 균일하게 분포시키는 방법으로 고온 산소분위기에서 백금을 확산하거나, 질소 분위기에서 백금을 확산한 후 고온 산소 분위기에서 열처리하는 2가지 방법을 제안한다. 이것은 산화분위기에서 백금을 확산하면 실리콘의 산화과정에서 발생하는 과포화 격자간 실리콘에 의해 키크아웃 반응이 억제될 것으로 예상됨으로 표면근방의 $E_c - 0.23eV$ 준위농도의 파일업(pile-up)이 억제될 것이 기대된다. 그리고 백금을 확산하여 형성된 $E_c - 0.23eV$ 준위의 “U자” 농도분포에 대해서 백금의 확산원을 제거한 후 고온 산소분위기에서 열처리하면 실리콘의 산화과정에서 발생하는 과포화 격자간 실리콘에 의해 키크아웃 반응이 역으로 작용하여 격자간 실리콘이 치환형 백금을 키크아웃 시킴으로써 치환형 백금에 기인하는 $E_c - 0.23eV$ 준위의 농도를 시료의 내부수준으로 균일화시킬 수 있다고 생각한다. 또한 치환형 백금이 시료전체에 걸쳐 균일한 분포를 할 때 $E_c - 0.52eV$ 준위의 생성에 기여하는 점결함들도 균일한 분포를 하게 될 것이 예상된다. 그리고 이와 같은 결과가 실리콘 n+p 접합의 누설전류에 어떠한 영향을 미칠지도 함께 조사하였다.

2. 실험 방법

본 연구에 사용한 기판은 붕소를 도핑한 실리콘 위에 저항율이 $15 \Omega \cdot \text{cm}$ 인 에피층을 $30 \mu\text{m}$ 형성한 구조의 웨이퍼이다. 여기에 인을 열확산하여 n+pp+구조의 다이오드를 제작 하였다. 백금확산은 확산원인 Pt-박막을 웨이퍼의 에피층이 형성된 반대면에 도포하고 질소 및 산소분위기에서 $850 \sim 1100 \text{ }^\circ\text{C}$ 의 온도범위에서 1시간 실시했다. 이때 pn 접합을 형성하기 위해 인을 열확산한 웨이퍼와 인의 열확산 공정을 거치지 않은 웨이퍼에 백금확산을 동시에 실시했다. 백금을 확산한 후 시료는 백금을 도포한 면에 형성된 백금 실리사이드를 연마 방법으로 제거하였다. 그리고 시료의 일부는 열처리효과를 조사하기 위하여 산소분위기에서 $450 \sim 1100 \text{ }^\circ\text{C}$ 의 온도범위에서 열처리를 1시간 실시했다. 백금확산 후 연마공정을 마친 시료와 열처리를 실시한 시료의 표면에 형성된 산화막을 불산으로 제거하고 양면에 알루미늄을 진공 증착하여 전극을 형성하였다. 그 후 pn 접합이 형성된 면을 메사에 칭하여 다이오드를 제작하였다. 각각의 공정을 거친 시료에 대한 백금준위의 농도는 DLTS법으로 측정했으며, 깊이방향 농도분포는 표면으로부터 에칭을 반복하면서 DLTS측정을 실시했다. 그리고 pn 접합이 형성된 시료에 대해서는 역방향 전류-전압특성을 조사하였다.

3. 결과 및 검토

현재 백금은 전력용 소자의 스위칭 특성을 개선할 목적으로 널리 응용되고 있지만 앞서 언급한대로 백금에 의해 형성되는 $E_c - 0.23eV$ 그리고 $E_c - 0.52eV$ 준위의 농도가 표면 근방에서 급격하게 변하는 “U자” 또는 “M자” 형태의 분포를 하기 때문에 소자의 전기적 특성 및 안정성에 나쁜 영향을 미침으로 이들 준위의 농도분포를 균일화시킬 필요가 있다. $E_c - 0.23eV$ 및 $E_c - 0.52eV$ 준위의 농도분포를 균일화 시키는 데는 시료내부의 백금이 포화될 때 까지 확산하는 방법과 표면 근방의 키크아웃 반응을 억제시키는 방법이 있을 수 있다. 전자의 경우 시료전체에 백금을 포화시키기 위해서는 50시간 이상의 장시간 확산이 요구됨으로 현실적으로 소자제조공정에 적용하기는 부적합하다. 후자의 경우는 백금확산을 산소분위기에서 실시하면 실현 가능하다고 생각된다. 즉 실리콘 표

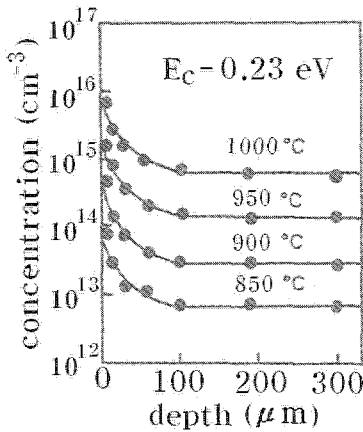


그림 1. 질소분위기에서 1시간 백금을 확산 했을 때 $E_c - 0.23eV$ 준위의 농도분포.

Fig. 1. Concentration profiles of the $E_c - 0.23eV$ level in Pt-diffused Si, where Pt-diffusion was performed for 1 h in N_2 .

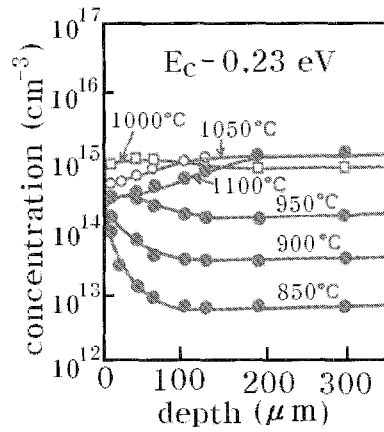


그림 2. 산소분위기에서 1시간 백금을 확산 했을 때 $E_c - 0.23eV$ 준위의 농도분포.

Fig. 2. Concentration profiles of the $E_c - 0.23eV$ level in Pt-diffused Si, where Pt-diffusion was performed for 1 h in O_2 .

면이 산화할 때 Si/SiO_2 계면에서 과잉 격자간 실리콘이 발생하고[8-10], 표면 근방에서 키크아웃 반응이 이들 과잉 격자간 실리콘에 의해서 억제되기 때문에 급격한 농도변화를 완화시킬 수 있다고 생각된다.

그림 1은 백금을 850~1000 °C 범위의 질소분위기에서 1시간 확산 했을 때 $E_c - 0.23eV$ 준위의 농도분포를 나타낸다. 질소 분위기에서 1시간 백금을 확산하면 그림과 같이 시료 중앙부근에서는 균일하게 분포하지만 표면으로 갈수록 지수 함수적으로 증가하며 표면농도는 거의 온도에 따른 고온한계 값에 도달해 있다. 그리고 확산온도가 높아질수록 "U자"형태의 분포는 변하지 않고 농도는 온도에 따라 지수 함수적으로 증가한다.

그림 2는 백금을 850~1100 °C 범위의 산소분위기에서 1시간 확산했을 때 $E_c - 0.23eV$ 준위의 농도분포를 나타낸다. 이것을 그림 1의 결과와 비교하면 확산 온도가 높아질수록 확산 분위기 가스의 영향이 현저하게 나타남을 알 수 있다. 즉 비교적 낮은 온도인 850 °C까지는 확산 분위기에 관계없이 표면으로 갈수록 $E_c - 0.23eV$ 준위의 농도가 지수 함수적으로 증가하지만, 900 °C 보다 고온이 되면 확산온도가 높을수록 표면 근방의 $E_c - 0.23eV$ 준위의 농도의 과잉이 점점 억제됨을 보여준다. 그리고 확산온도가 1000 °C 정도가

되면 시료전체에서 $E_c - 0.23eV$ 준위의 농도의 균일한 분포를 얻을 수 있으며, 1100 °C 이상으로 온도가 증가하면 $E_c - 0.23eV$ 준위의 표면 근방의 농도는 오히려 시료 내부보다 낮아진다. 즉 질소 분위기에서 백금을 확산하면 모든 온도 범위에서 "U자"형태의 농도 분포를 나타내지만, 산소 분위기에서는 고온으로 갈수록 표면 근방의 농도 과잉이 억제되고, 1000 °C 부근에서는 시료전체에 걸쳐서 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 정도의 균일한 농도 분포를 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.

그림 3은 질소 및 산소 분위기 850~1100 °C 온도범위에서 1시간 백금을 확산했을 때 격자간 백금과 결정결합과의 복합체에 기인하는 것으로 알려진 $E_c - 0.52eV$ 준위의 농도분포를 나타낸다. 같은 온도 범위의 질소 분위기에서 1시간 확산했을 때 $E_c - 0.52eV$ 준위의 농도 분포는 시료 중앙부근에서는 균일하게 분포하지만 표면으로 갈수록 증가하다가 표면에서 10 μm 부근에서 피크를 가지는 "M자"분포를 나타낸다. 반면에 산소분위기에서는 950 °C 이상의 고온에서는 표면 근방을 제외한 시료 전체에서 확산 온도에 관계없이 균일한 분포를 나타냄을 알 수 있다. 이때 $E_c - 0.52eV$ 준위의 농도는 $9 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 정도이다.

이와 같이 산소 분위기에서 백금을 확산할 경우 고온이 될수록 실리콘 표면 산화가 급속도로 진행

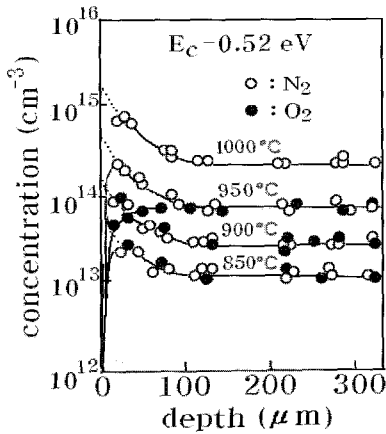


그림 3. 질소 및 산소분위기에서 1시간 백금을 확산했을 때 $E_c - 0.52eV$ 준위의 농도분포.
 Fig. 3. Concentration profiles of the $E_c - 0.52eV$ level in Pt-diffused Si, where Pt-diffusion was performed for 1 h in N_2 and O_2 .

되어 격자간 실리콘의 발생이 많아지기 때문에 표면 근방의 킱아웃 반응이 억제되어 $E_c - 0.23eV$ 준위의 농도 균일화가 실현되고, 격자간 실리콘 농도가 포화상태가 되기 때문에 백금 복합체를 형성하는 다른 점결함의 농도도 포화상태가 되어 $E_c - 0.52eV$ 준위농도의 균일화도 실현가능하였다. 그러나 고온 산소 분위기에서 확산할 경우 균일화 농도가 $E_c - 0.23eV$ 준위는 약 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, $E_c - 0.52eV$ 준위는 $9 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 정도로 이것은 일반적인 소자 제조공정에 사용하기에는 지나치게 높은 값이다. 그래서 임의의 농도로 제어할 수 있는 방법으로 2단계 열처리 공정을 제안한다.

1단계 백금 확산 공정에서는 시료 중앙부의 농도가 소자가 요구하는 값이 되게 확산 온도와 시간을 설정한다. 이때 깊은 준위의 농도 분포는 앞서 언급한 대로 표면 근방에서 급격한 변화를 나타낼 것이다. 2단계 열처리공정은 1단계 확산 공정에서 사용된 백금의 확산원을 시료로부터 제거한 후 산소 분위기에서 열처리를 한다. 다시 말하면 확산원이 제거된 상태에서 시료 표면이 산화될 때 Si/SiO_2 계면에서 파잉 격자간 실리콘이 발생하고, 백금의 공급이 차단되어 있으므로 산화 과정에서 발생된 파잉 격자간 실리콘에 의해서 킱아웃 반응이 역으로 일어나 표면 근방에서 파일업된 치환형 백금이 킱아웃 되어 $E_c - 0.23eV$ 준위의

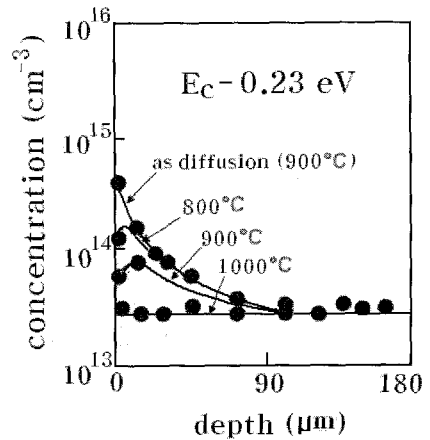


그림 4. N_2 분위기 900 °C에서 1시간 백금을 확산한 후 O_2 분위기에서 열처리 했을 때 $E_c - 0.23eV$ 준위의 농도분포.
 Fig. 4. Concentration profiles of the $E_c - 0.23eV$ level, where the sample was annealed at 1000 °C for 1 h in O_2 after Pt-diffusion at 950 °C for 1 h in N_2 .

농도가 감소될 것이 예상된다. 그림 4는 백금을 900 °C 질소 분위기에서 1시간 확산한 후, 확산원을 제거하고 산소 분위기 800~1000 °C에서 1시간에서 열처리 했을 때 $E_c - 0.23eV$ 준위의 농도 분포의 변화를 나타낸다. 그림을 보면 질소 분위기에서 확산했을 때 형성된 표면 근방의 파일업된 농도가 산소분위기에서 2단계 열처리를 실시한 결과 온도가 높아질수록 표면 근방의 농도는 점점 감소하여 1000 °C에서 시료 중앙부 농도 수준에 도달하여 시료전체에서 균일한 농도 분포를 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다.

그림 5는 백금을 900 °C 질소 분위기에서 1시간 확산한 후, 확산원을 제거하고 산소 분위기 600~1000 °C에서 1시간 열처리 했을 때 $E_c - 0.52eV$ 준위의 농도 분포의 변화를 나타낸다. 그림에서 백금 복합체의 농도 분포는 치환형 백금의 농도와는 다르게 800 °C에서 "M자" 분포의 피크 농도가 최대가 되며 그 이상 온도가 증가하면 피크 농도가 점점 낮아져서 1000 °C에서 균일한 농도 분포를 얻을 수 있음을 보여준다. 여기서 600~800 °C범위에서 열처리 할 경우 $E_c - 0.52eV$ 준위의 농도가 증가하는 이유에 대해서는 아직 명확히 알 수 없지만 복합체를 형성하는 최적조건이 800 °C 부근이 아닐까 생각된다.

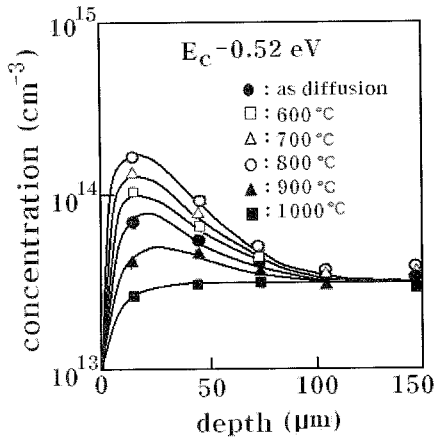


그림 5. N₂ 분위기 900 °C에서 1시간 백금을 확산한 후 O₂ 분위기에서 열처리 했을 때 E_c-0.52eV 준위의 농도분포.

Fig. 5. Concentration profiles of the E_c-0.52eV level, where the sample was annealed at 1000 °C for 1 h in O₂ after Pt-diffusion at 950 °C for 1 h in N₂.

이상과 같이 고온 산소 분위기에서 백금을 확산했을 경우 1000 °C에서 1시간 확산하면 1×10¹⁵ cm⁻³ 정도의 균일한 농도 분포를 얻을 수 있다. 그러나 이것은 일반적인 소자에서 요구하는 농도보다는 고농도이고 농도제어 가능한 범위가 제한적이어서 실제 소자 제조공정에 적용하기에는 문제가 있다. 반면에 2단계 열처리 방법은 초기 백금 확산 공정에서 소자가 요구하는 임의의 농도를 자유롭게 선택한 다음 2단계 열처리 조건을 선택하여 농도분포를 제어할 수 있으므로 실제 소자 제조공정에 용이하게 적용할 수 있다.

그림 6은 백금을 800~1000 °C에서 1시간 확산시킨 n+p 실리콘 접합의 실온에서의 역방향 전류-전압특성을 나타낸 것이다. 확산온도가 900 °C까지는 확산 분위기에 관계없이 확산 온도가 증가할수록 누설전류가 증가하지만 확산 온도가 1000 °C 이상이 되면 산소분위기에서 역방향 전류가 현저하게 감소한다. 그리고 백금을 확산하지 않는 시료에서는 연성항복현상이 일어나지 않지만, 백금을 확산한 대부분의 시료에서는 V_R > 10V 인 경우 연성항복현상이 일어나고 있다. 그러나 산소 분위기 1000 °C에서 백금을 확산한 시료의 경우에는 누설전류가 백금을 확산하지 않은 시료보다 증가했지만 연성항복현상은 관측되지 않았다. 다시 말

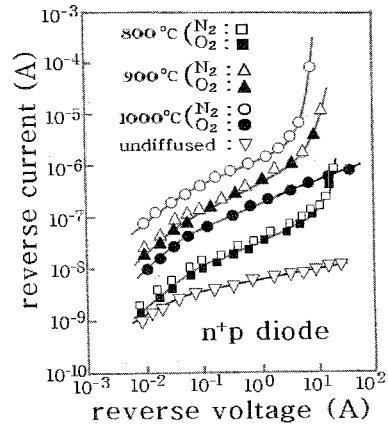


그림 6. 백금을 확산한 실리콘 n+p 접합의 역방향 전류-전압특성.

Fig. 6. Reverse bias I-V characteristics of a platinum-diffused silicon n+p junction.

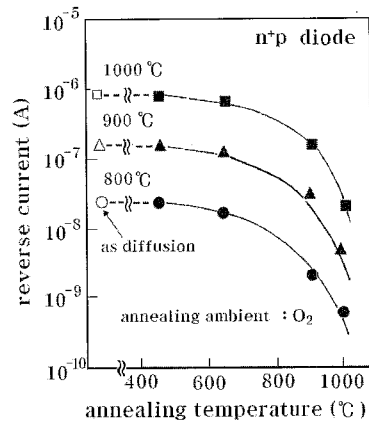


그림 7. 백금을 확산한 n+p 접합의 누설전류에 대한 열처리 효과.

Fig. 7. Annealing effects on leakage current of a platinum-diffused silicon n+p junction.

하면 깊은 준위의 농도 분포를 균일하게 제어함으로써 소자의 연성항복현상을 억제할 수 있다고 생각된다.

그림 7은 백금을 질소 분위기 800~1000 °C에서 1시간 확산시킨 n+p 실리콘 접합을 확산원을 제거하고 산소 분위기 400~1000 °C 온도 범위에서 1시간 열처리 했을 때 역방향 전류-전압특성을 나타낸 것이다. 초기 확산 온도에 대한 역방향 포화 전류는 그림 6의 역바이어스가 3V일 때 전류 값

이다. 산소 분위기에서 2단계 열처리를 실시한 시료에 대해서도 역바이어스가 3 V일 때 전류 값을 나타내며 모든 시료에서 온도가 증가할수록 누설 전류가 급격히 감소함을 알 수 있다. 이것은 pn 접합이 형성되는 영역에서 불균일하게 분포하던 캐리어 발생 준위인 $E_c - 0.23eV$ 준위의 농도가 그림 4에서 보여주는 것처럼 고온 산소 분위기에서 2단계 열처리를 실시하면 표면 근방에서 과잉 업되었던 부분이 온도가 올라갈수록 감소하기 때문이라 생각된다.

4. 결론

본 연구에서는 백금을 실리콘에 확산했을 때 발생하는 $E_c - 0.23eV$ 준위의 경우 “U자”형태 그리고 $E_c - 0.52eV$ 준위의 경우 “M자” 형태를 나타내는 농도분포를 시료전체에 걸쳐 균일하게 분포시키는 2가지 방법을 제안하였다. 그 첫 번째 방법은 1000 °C 정도의 고온 산소 분위기에서 백금을 확산하는 방법으로 고온 산소 분위기에서 실리콘 표면이 산화할 때 Si/SiO_2 계면에서 발생하는 과잉 격자간 실리콘이 표면 근방에서 활발히 진행되는 키크아웃 반응을 억제함으로써 $E_c - 0.23eV$ 준위와 $E_c - 0.52eV$ 준위의 농도를 시료 전체에 걸쳐 균일하게 분포시키는 방법이다. 이 경우 $E_c - 0.23eV$ 준위의 농도는 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 정도이고 $E_c - 0.52eV$ 준위의 농도는 $9 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 정도로 제어 가능한 농도가 매우 제한적이다. 또 다른 방법은 먼저 시료의 중심부에서의 백금의 농도가 소자의 요구 조건에 부합되게 백금을 확산한 후 확산원을 제거한 다음 1000 °C 정도의 고온의 산소 분위기에서 열처리하는 2단계 열처리 방법이다. 초기 백금 확산으로 표면 근방에 나타나는 농도의 불균일한 분포를 1000 °C 정도의 고온 산소 분위기에서 열처리하면 실리콘 표면이 산화할 때 Si/SiO_2 계면에서 발생하는 과잉 격자간 실리콘에 의해 표면 근방에서는 키크아웃 반응이 역으로 진행하여 과잉업된 백금 준위의 농도를 감소시킴으로써 시료 전체에서 균일한 농도 분포를 얻을 수 있다. 이 경우에는 1단계 백금 확산에서 소자가 요구하는 농도를 임의로 설정할 수 있는 장점이 있다. 그리고 실제 pn 접합의 역방향 누설전류 특성을 조사한 결과 백금 준위의 농도 분포가 접합 부근에서 급격하게 변하는 시료에서는 누설전류가

증가할 뿐 아니라 연성항복현상이 일어나지만, 시료 전체에서 농도가 균일하게 분포하는 시료의 경우에는 누설전류가 백금을 확산하지 않는 시료보다 증가했지만 연성항복현상은 관측되지 않았다.

참고 문헌

- [1] 김병길, 최성환, 이종현, 배영호, “양성자 주입 기술을 이용한 PT형 전력다이오드의 스위칭 특성 향상”, 전기전자재료학회논문지, 19권, 3호, p. 216, 2006.
- [2] Y. K. Kwon, T. Ishikawa, and H. Kuwano, “Properties of platinum-related levels in silicon”, J. Appl. Phys., Vol. 61, p. 1055, 1987.
- [3] J. A. Pals, “Properties of Au, Pt, Pd and Rh levels in silicon measured with a constant capacitance technique”, J. Appl. Phys., Vol. 17, p. 1139, 1971.
- [4] S. D. Brotherton, P. Sradley, and J. Bicknell, “Electrical properties of platinum in silicon”, J. Appl. Phys., Vol. 50, p. 3396, 1979.
- [5] K. P. Lisak and A. G. Milnes, “Energy levels and concentrations for Platinum in silicon”, J. Appl. Phys., Vol. 18, p. 533, 1975.
- [6] U. Gosele, W. Frank, and A. Seeger, “Mechanism and kinetics of the diffusion of gold in silicon”, Appl. Phys., Vol. 23, p. 361, 1980.
- [7] H. Kitakawa, K. Hashimoto, and M. Yoshida, “Criteria for basic assumptions in kick-out mechanism of diffusion”, Japan. J. Appl. Phys., Vol. 20, p. 2033, 1981.
- [8] J. M. Fairfield and B. J. Masters, “Self-diffusion in intrinsic and extrinsic silicon”, J. Appl. Phys., Vol. 38, p. 3148, 1967.
- [9] B. J. Masters and J. M. Fairfield, “Silicon self-diffusion”, J. Appl. Phys., Vol. 8, p. 280, 1966.
- [10] T. Y. Tan and Goesel, “Growth kinetics of oxidation-induced stacking fault in silicon: A new concept”, Appl. Phys. Letters, Vol. 39, p. 86, 1981.