

Si 웨이퍼의 내부 금속 불순물 Fe의 결함분석

Defect evaluation of Fe metallic contamination in silicon wafers

오민환*, 남효덕**, 김흥락***, 김동수***, 김영덕***, 김광일***

(Oh Min Hwan*, Nam Hyo Duck, Kim Heung Rak, Kim Dong Su, Kim yeung Duk, Kim Kwang-Il)

Abstract

Silicon wafers using DRAM devices required for high cleaning technology and this cleaning technology was evaluated by defect level or electron life time. This paper examined the correlation of SPV(Surface Photo Voltaic Analyzer) which analyzes diffusion length of minority carriers and DLTS(Deep level Transient Spectroscopy) which analyzes defect level.

Key Words : Defect level, Electron life time, SPV, DLTS,

1. 서 론

256M 또는 1G DRAM과 같은 초 고집적회로(ULSI)에 있어서 과다한 전력소모에 의한 열 발산은 소자의 작동을 크게 제한할 수 있으므로, 전력소모에 영향을 미치는 결정 결함들과 금속불순물들을 소자활성영역에서 효과적으로 제거함은 매우 중요하다. 이 중에서 금속 불순물은 반도체 소자 수율 감소에 가장 중요한 요소로 작용하며, 특히 천이 금속 불순물, 입자 오염 등이 반도체 제조공정 중에서 존재한다면 소자 특성에 악영향을 줄 수 있다. 이러한 실리콘 표면 및 내부에 존재하는 금속불순물은 각종 측정기술로 정량적 혹은 정성적으로 측정, 분석된다.⁽¹⁾⁻⁽³⁾ 그러나 각각의 장비들로부터 얻어진 결과들은 개별적으로 사용되는 것보다 여러 장비들의 측정 결과와 연관성을 가지며, 비교 검토되고 난 다음 이용될 때 그 신뢰도가 커진다. 본 논문에서는 반도체 금속 불순물의 정성적인 측정 분석이 가능한 중성영

역에서 일어나는 Fe에 의한 전자의 소멸시간을 측정하는 SPV와 그 현상이 SPH 모델에 의한 Fe의 에너지 준위에 기인하는 DLTS의 정량적 측정 결과와 연관성을 관찰하여 나아가서 측정 시편 제작이 복잡한 DLTS 측정보다 간편하게 제작 측정할 수 있는 SPV 측정법으로 실리콘 내부에 Fe 불순물에 대한 연관성을 파악한다.⁽⁴⁾

2. 실험

2.1 SPV 실험 방법

실리콘 웨이퍼 내의 Fe 오염 정도를 관찰하기 위해서 SPV⁽⁵⁾ 장비를 이용하였다. phoenix기종의 SPV 측정 장비들이 각 파장에 대하여 단색광의 세기를 조절하여 일정한 ΔV 를 유지시키며 측정을 하는데 비하여, 본 실험에서의 장비 특징은 일정한 단색광의 세기로 여기된 ΔV 를 그대로 받아들임으로써 상대적으로 표면 상태에 의한 영향이 적고, 짧은 시간에 측정이 이루어지고, 또한 비파괴적, 비접촉, 그리고 8인치 웨이퍼에 대한 측정이 가능한 장점을 지니고 있다. 본 실험에서의 SPV장치 개략도는 그림 1과 같다. 할로젠 램프로부터 파장이 0.8-1.0 μm 인 백색광이 빛의 세기를 조절하는 Iris-Attenuator를 거친 후, 흡수 길이가 다른 여러 파장의 단색광을 얻기 위해서 Narrow Bandpass Filter Wheel을 통과한다. 통과된 단색광은 수 msec- 수 sec 동안에 반응

*영남 대학교 전자공학과
(경상북도 경산시 대동 영남대학교)

Fax: 053-813-8130

E-mail: hwan@orgio.net

**영남 대학교 전자정보공학과

***포항산업과학연구원 센서·계측연구팀

하는 표면 상태에 의한 포획 전하(Trapped charge)의 영향을 없애기 위해서 512Hz의 주기로 초핑(Chopping)되는 초퍼를 거친 후에 ITO-Probe와 실리콘 웨이퍼의 전기적 접촉면에 조사된다. 측정을 위한 probe의 이동 및 조정은 컴퓨터화 되어있으며, 외부 빛에 의한 영향을 제거하도록 시스템이 구성되어 있다.

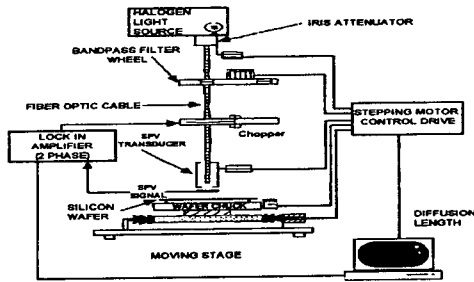


그림1 SPV 개략도

SPV 측정을 위한 p-형 Si웨이퍼는 자연 산화막 제거 및 안정된 공핍 영역 형성을 위한 HF처리(HF : DI water = 1 : 100, 1분)하였고, Fe 오염정도를 관찰하기 위하여 200℃, 2분간의 열처리 후 즉시 Al 판에서 급냉 하였다.

2.2 DLTS 실험방법

측정을 위한 시편준비는 먼저 측정하고자 하는 시편을 전면 Schottky 접합을 만들어 역 인가전압에 대한 항복(breakdown)이 일어나지 않는 DLTS 측정이 가능한 조건을 찾되 시편을 적당한 화학처리를 하여 Al을 2000Å 이상 증착 하였으며 그 결과는 그림 2의 TEM(Transmission Electron Microscope)사진과 같다. 여기서 a)는 HF(30sec dip), b)HF(30sec dip) + 1HCl : 5H₂O의 75℃, 1분간 처리, c)HF(30sec dip) + 1HCl : 1H₂O₂ : 5H₂O의 75℃, 10분간을 처리한 것이다. 각각의 역인가 전압이 -6V일 경우, 300K에서 누설 전류가 a)의 경우는 151.4μA 이상으로 항복이 일어나고, b)의 경우는 약 26.5μA c)의 경우는 약 8.0μA로 c)의 경우와 Schottky 접합이 형성된 것으로 볼 수 있다.

TEM 사진에서 보면 a)의 경우에는 Al/Al-Si/Si의 구조가 나타나며, b)와 c)의 경우에는 실리콘 계면에 얇은 Si과 Al의 합금층으로 예상되는 층이 존재함을 알 수 있다. 이것은 HCl : H₂O₂ : H₂O 화학처리가

표면의 성질을 변화시켜 이와 같은 층의 형성을 유도하여 전기적 장벽이 충분히 높은 Schottky 접합을 형성하도록 했음을 알 수 있다. 그러므로 DLTS 측정에서는 측정시편은 c)와 같은 방법으로 제작하여 측정에 이용하였다.

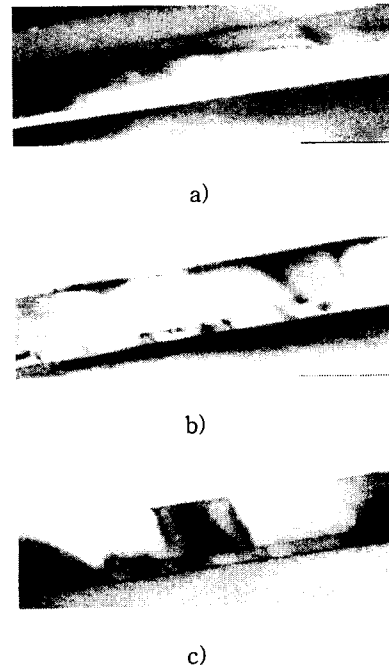
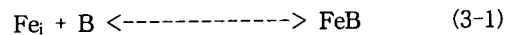


그림 2. Al/Si Schottky 접합계면 TEM 사진

3. 결과 및 고찰

3-1 SPV 및 DLTS 측정법에 의한 Fe 농도 결정

SPV는 중성영역에서 일어나는 Fe에 의한 전자의 소멸시간을 측정하는 것으로, 그 현상이 SPH 모델에 의한 Fe의 에너지 준위에 기인하므로 이 이론에 근거하여 DLTS 측정 결과와 연관시킬 수 있다. 즉, P형 실리콘 내부에서 침입형으로 존재하는 Fe는 상온의 정상상태에서 확산하며, 이러한 과정에서 음전하를 띠는 B⁻과 쉽게 결합하여 FeB 화합물을 형성한다. Fe_i 및 FeB은 DLTS의 결과에 의하면 실리콘 밴드갭 내에서 각각 E_v+0.4eV, E_v+0.1eV의 불순물 준위를 갖는다. 이러한 점결합(Point defect) 반응의 평형식은 3-1식과 같다.



상온의 평형 상태에서 실리콘 내에 존재하는 모든 Fe_i은 안정화된 FeB화합물을 형성하고, 200℃ 이상에서는 대부분의 Fe_i은 깊은 준위를 갖는 침입형으로 되돌아간다. 이것을 이용하여 SPV측정법으로 측

정된 확산거리와 DLTS와의 연관으로부터 실리콘 내부의 Fe 농도를 결정할 수 있다.

3-2 SPV와 DLTS와의 연관 관계

DLTS 측정장비의 정상적인 동작을 확인하기 위해서 Fe를 기준으로 2개의 전기적으로 활성화된 원자 상태를 에너지 준위와 온도에 따른 분석이 가능하도록 기준으로 하였다. 이와 같이 임의로 $1.22E14 \text{ atoms/cm}^3$ 의 Fe를 오염시킨 실리콘 시료를 rate window를 바꾸어 가면서 최대 ΔC 의 온도변화를 관찰하여 이를 $\ln(E/T^2)$ 와 $100/(KT)$ 를 축으로 한 Arrhenius plot를 함으로써 Fe와 FeB의 활성화 에너지(E_a)를 구하였다.

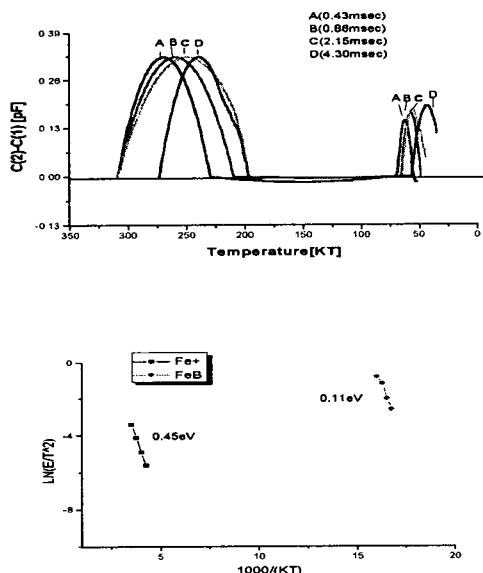


그림3 Fe_i와 FeB에 대한 DLTS 스펙트럼 및 에너지준위

원자상태인 Fe_i의 활성화 에너지를 얻었으며, 이것은 표 1과 같이 같은 수준이었다. 이것으로 보아 본 DLTS 시스템은 정상적으로 동작하고 있음을 알 수 있다.

표 1. Fe에 대한 Energy Levels

Defect	Energy Level
Fe _i	$E_v + 0.40\text{eV}$
FeB	$E_v + 0.10\text{eV}$

그림 4는 p-형 실리콘에서 열적 평형상태로 존재하

는 FeB가 hot plate에서 200°C/2min 열처리한 뒤 Al 판에서의 급냉을 통해서 평형상태를 벗어나 Fe_i의 상태로 되돌아간 결과를 보인 것이다. 여기서 Fe_i와 FeB는 항상 평형 상태를 위해서 상대적으로 존재하며 이를 정량적으로 DLTS로 관찰할 수 있으며, 정성적으로 다음과 같이 SPV 등과 연관을 지을 수 있음을 알 수 있었다.

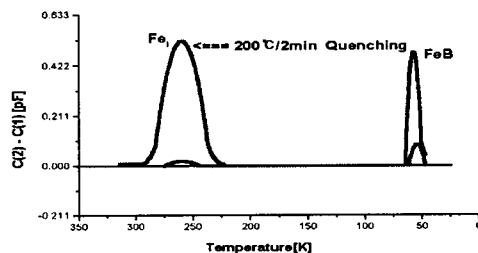


그림 4. 열처리에 의한 FeB \rightleftharpoons Fe_i 변환에 대한 DLTS 스펙트럼

그림 5는 SPV로 측정되어 Si 웨이퍼내의 Fe가 불순물로 존재하는 열처리 전후의 측정결과이다. SPV 측정에서 확산거리 값은 상온 상태에서 Si 웨이퍼 내부에 존재하는 Fe가 FeB형태의 안정화된 값으로 확산거리 값이 높게 나타나며, 200°C quenching한 것은 Fe가 Fe⁺와 B⁻으로 분리되어 Fe⁺에 의한 확산거리 값이 낮게 나타난다. 여기에서 SPV의 측정은 표면상태에는 영향이 없고, 단지 bulk내에서 금속불순물에 따른 전자의 수명과 관련된 것으로 볼 수 있다. 이것은 DLTS와의 연관 관계를 선정할 수 있는 좋은 예라 할 수 있다.

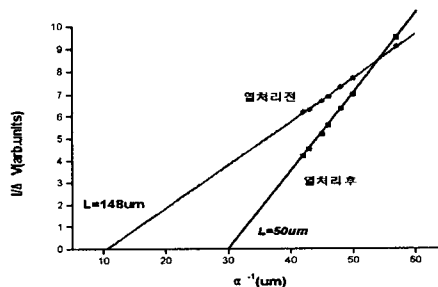


그림 5 SPV 측정에 의한 확산거리 결정

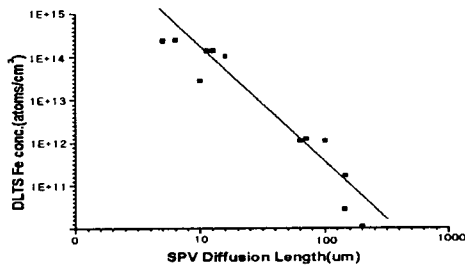
그림 6은 DLTS-SPV의 연관관계를 hot-plate에서 200°C/2min 열처리한 뒤 Al판에서의 급냉을 통해 열처리 전후의 현상의 결과들을 SPV 측정에서는 확

산거리 값으로 나타내고, DLTS 측정에서는 $Fe_i(262K)$ 의 농도로 나타낸 것이다. 여기서 Fe_i 농도가 $1E11atoms/cm^3$ 에 해당하는 SPV의 열처리 전후 값은 $300\mu m, 160\mu m, 160\mu m$ 로 DLTS 측정값과는 열처리 전에는 $y=-1.034 \times 10^{12}X + 3.1034 \times 10^{14}$ 이고 열처리 후에는 $y=-1.013 \times 10^{12}X + 3.01 \times 10^{14}$ 인 역비례하는 선형적인 관계로 대응함을 알 수 있다. 이러한 현상은 Fe오염의 정량적인 측정이 이루어지는 DLTS와 정성적인 측정이 가능한 SPV와 연관이 이루어질 수 있음을 보여준다.

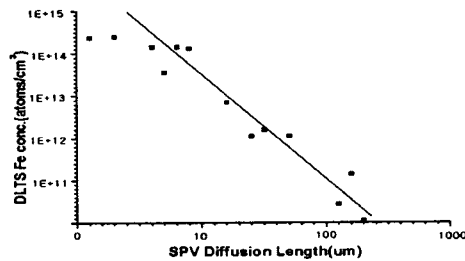
SPV의 측정값과 DLTS 측정값과는 역 비례하는 선형적인 관계로 대응함을 알 수 있었다. 이것으로 Fe오염의 정량적인 측정이 이루어지는 DLTS와 정성적인 측정이 가능한 SPV와 연관으로 Fe 농도를 간단하게 연관시킬 수 있었다.

참고 문헌

- [1] Wener kern "Handbook of Semiconductor wafer cleanin technology" NOYES Publishing company, New jersey, USA(1993).
- [2] H.Yamaggighi, I. Fusegawa, N. Fujimaki and M. Katayama: Semiconductor Technology, Vol. A135, (1992).
- [3] J. Zhou, Proceedings of the syposium on defect in Semiconductor Electrochemical society, p457, Pennington, 1988.
- [4] G. Zoth and W. Bergholz "A fast, preparation-free method to detect iron in silicon" J.appl.phys, 67. 6764-6771 (1990).
- [5] Contamination monitoring system Based on SPV Diffusion Length Measurements, operating procedures, 1991 SDI.



a) 열처리 전



b) 열처리 후

그림6 DLTS - SPV 연관 그래프

4. 결과

실리콘 내부에 존재하는 금속불순물은 각종 측정기술로 정량적 혹은 정성적으로 측정, 분석되며 각각의 장비들로부터 얻어진 결과들은 개별적으로 사용 되는 것보다 여러 장비들의 측정결과와 연관이 되어 비교 검토되고 난 다음 이용될 때, 그 신뢰도가 커진다. 따라서 본 실험에서 소수 캐리어의 확산 거리를 관찰하는 SPV 측정법과 결함준위를 측정하는 DLTS장비로 불순물 Fe에 대해서 비교, 검토하였다.