

<연구논문>

SIMOX SOI 제조시 산소석출물의 거동과 전기적 특성에 미치는 영향

裴泳鎭* · 鄭旭珍* · 金光一* · 權英規* · 金沆焯** · 曹贊燮*** · 李鍾玄***

*産業科學技術研究所 半導體素子 研究그룹, **포항공과대학 전자전기공학과,
***慶北大學校 電子工學科
(1991년 12월 19일 접수)

Behavior of Oxygen Precipitates during SIMOX SOI Fabrication and Their Influences to the Electrical Property

Young-Ho Bae*, Woo-Jin Chung*, Kwang-Il Kim*, Young-Kyu Kwon*,
Bum Man Kim**, Chan-Sub Cho*** and Jong-Hyun Lee***

*Semiconductor Device Res Lab. RIST, **Dept. of Electronic Electrical Eng., POSTECH,
***Dept. of Electronics KNU
(Received December 19, 1991)

요 약— 2×10^{18} ions/cm²의 산소이온이 180 keV로 주입된 실리콘웨이퍼를 1250°C에서 6시간 동안 질소분위기로 열처리하여 SIMOX SOI 구조를 제조하였다. 이온주입 후 열처리 과정에서 산소원자의 거동을 AES와 TEM으로 분석하였고, SRP법으로 시료의 전기적 특성을 조사하였다. 그 결과 고온의 열처리 후에 SOI층 내에 산소석출물이 존재하고 있음을 관찰할 수 있었으며 이들은 SOI층의 전기적 특성에 심각한 영향을 미침을 알았다. 그리고 열처리 과정에서 SOI층 내 산소농도의 감소는 이들 석출물의 성장소멸기구에 지배됨을 알았다.

Abstract—SIMOX SOI structures were formed by oxygen ion implantation with a dose of 2×10^{18} ions/cm² at 180 keV and post-implantation annealing at 1250°C for 6 hours in nitrogen ambient. The oxygen redistribution process during post-implantation annealing was examined by AES and TEM. The electrical property of the structure was investigated by SRP method. We could find oxygen precipitates in SOI layer after high temperature annealing. The influence of the precipitates to the electrical property of the SOI layer was discussed. And the limiting factor to the decrease of the precipitates during post-implantation annealing was discussed also.

1. 서 론

절연체 상부에 단결정 실리콘 박막이 존재하는 SOI (Silicon-On-Insulator) 구조는 소자가 제작되는 표면 실리콘층이 기판이 전기적으로 완전히 분리가 되므로

집적회로의 기판으로서 많은 장점을 가지고 있다. SOI구조의 대표적인 장점으로는 집적도증대, 동작속도개선, 소자간의 완전분리, 내방사성 등을 들 수 있다 [1, 2].

현재까지 여러 가지의 SOI 제조법이 개발되어 있으나 SIMOX(Separation by Implanted Oxygen) 기술[3]은 그 제조공정이 이온주입과 열처리공정으로 이루어져 있어 기존 실리콘 집적회로 공정의 범위를

*경북 포항시 효자동 산 32번지, 산업과학기술연구소 반도체소자 연구그룹
전화 : (0562)79-6792, Fax : (0562)79-6199

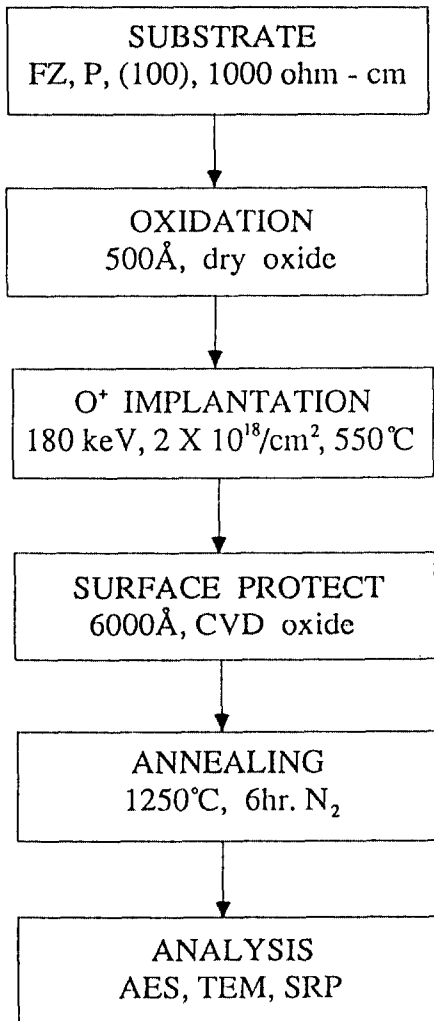


Fig. 1. A flowchart of experimental process.

크게 벗어나지 않기 때문에 가장 기대되는 기술 중의 하나이다. 특히 SIMOX SOI는 비교적 고품질의 SOI층을 얻을 수 있고 두께 1000 Å를 균일하고 재현성 있게 제작할 수 있는 장점이 있다[4]. 반면에 SIMOX SOI는 다량의 산소이온 주입과 이온주입시 생성된 결정결함을 회복시키기 위한 고온 장시간의 열처리가 필요한 등의 문제점이 있어 이를 해결하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 열처리 과정에서 산소의 거동 및 산소가 SOI층의 특성에 미치는 영향은 아직 명확히 밝혀져 있지 않다[5,6].

그래서 본 연구에서는 SIMOX SOI 제조에 있어서 열처리과정에서 일어나는 산소원자의 거동과 이들이

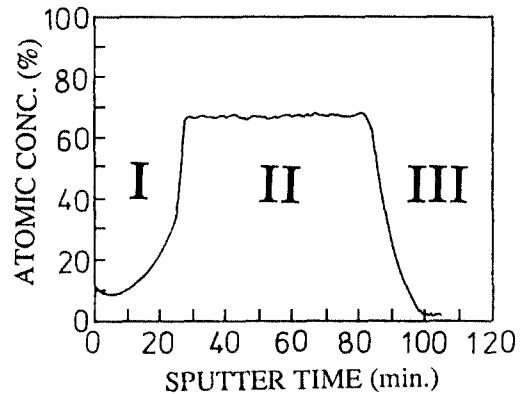


Fig. 2. Oxygen concentration profile of an as implanted specimen by AES.

SOI의 특성에 미치는 영향을 밝히고자 한다.

2. 실험

본 연구는 Fig. 1에 나타난 실험공정에 따라 실시했으며 이 때 사용된 기관웨이퍼는 FZ법으로 성장된 P형, (100)면, 직경 4인치의 실리콘웨이퍼로 그 비저항은 약 1000 Ω-cm이다. 산소이온 주입시 웨이퍼 표면의 손상을 최소화하기 위하여 500 Å 정도의 열산화막을 성장시켰다. 이온주입은 180 keV의 에너지, $2 \times 10^{18}/\text{cm}^2$ 의 dose로 주입되었으며, 이 때 기관온도는 550°C로 유지되었다.

이온주입 후 열처리는 고온의 열처리과정에서 일어날 수 있는 웨이퍼표면의 손상을 방지하기 위하여 LPCVD법으로 6000 Å 정도의 산화막을 형성하고 1250°C, 질소분위기에서 6시간 동안 실시하였다[7]. 열처리 후 시료내의 산소농도 분포의 변화를 Perkin Elmer사의 PHI 600 SAM(Scanning Auger Microscope)을 이용한 depth profile 분석으로 조사하였다. 이 때 매물산화층의 원자조성비는 열산화막과 비교하여 sensitivity 계수를 보정함으로써 정확성을 기하였다. 그리고 시료의 미세구조는 JEOL사의 JEM 4000 FX 투과전자현미경을 이용한 TEM 분석에 의해서 관찰되었다. 단면관찰과 전자회절 실험을 위한 시료는 두개의 시료를 관찰되는 면이 서로 마주보도록 접착하여 40~50 micron으로 연마후 Gatan사의 dual ion mill 600 장치로 ion milling하여 제작하였다. 그리고 산소이온 주입 및 열처리에 따른 도전특성의 변화는

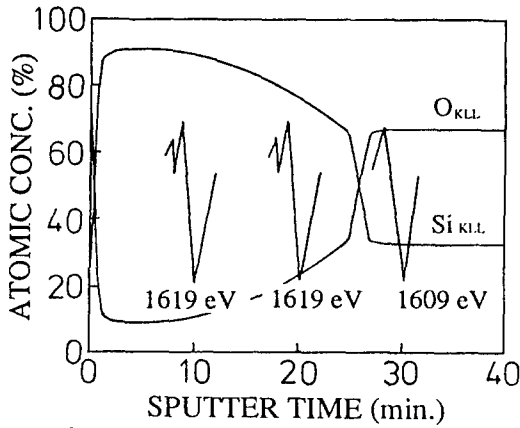


Fig. 3. Si KLL energies with depth.

SRP(Spreading Resistance Probe) 측정에 의하여 관찰되었다. 이 때 시료의 경사면마 각도는 34분, probe의 무게는 10 g으로 하였으며, 측정시스템에 내장된 thermal probe을 이용하여 시료의 전도형태를 조사했다.

3. 결과 및 고찰

산소이온 주입 후 열처리되지 않은 시료의 AES depth profile에 의한 산소원자의 농도분포를 Fig. 2에 나타내었다. 실리콘내에 산소의 고용한계는 1000°C 이상의 고온에서 수 ppm 정도임[8]은 잘 알려진 사실이나, 그림을 보면 I로 표시된 SOI층 내에는 고용도한계 이상의 산소들이 존재하고 있음을 알 수 있다. 그리고 II로 나타낸 매몰산화층 영역에서는 산소농도가 이온주입 후 일반적으로 예측되는 가우시안 분포를 하지 않고 균일하게 분포하고 있다. 이와 같은 현상은 이온주입 과정에서 가우시안 분포 피크치 부근에 주입된 산소가 실리콘과 결합하여 stoichiometry한 SiO₂가 되고 잉여산소는 산소농도가 비교적 낮은 표면 혹은 기판내부로 확산되어 산화층의 두께를 증가시키기 때문이다. 즉 산화막 내에서 산소의 확산은 비교적 쉽게 진행되므로[9] 이온주입시 유지되는 550°C의 기판온도는 산소의 확산에 충분한 온도이다. 이것은 다음과 같은 사실로서 확인할 수 있었다. 즉 Auger 분석결과, 매몰산화층 내에서 실리콘과 산소의 조성비가 열산화막의 조성비와 일치했으며, Fig. 3에 나타낸 바와 같이 Si KLL peak 에너지의 위치가

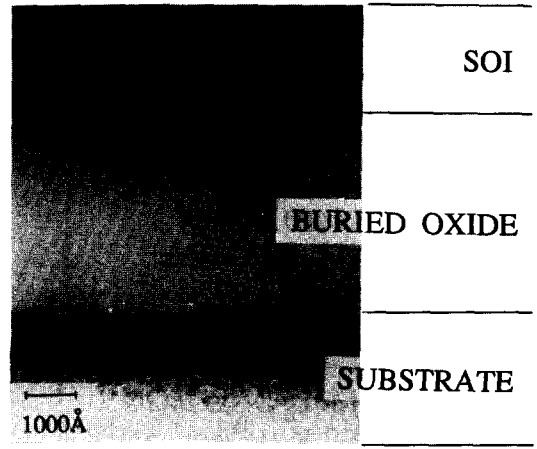


Fig. 4. Cross sectional TEM micrograph of an as implanted specimen.

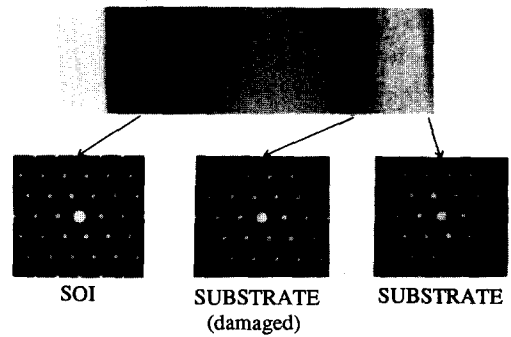


Fig. 5. TED patterns of an as implanted specimen.

SOI층 내에서는 순수실리콘 상태의 특성인 1619 eV에서 나타났으며 매몰산화층에서는 SiO₂의 특성인 1609 eV에서 나타났다.

산소이온 주입 후 열처리 되지 않은 시료의 미세구조를 관찰하기 위한 단면 TEM 관찰상을 Fig. 4에 나타내었다. 그림에서 나타난 바와 같이 이온주입 후 열처리를 행하지 않았고, SOI층 내에는 다량의 산소가 존재함에도 불구하고 실리콘층과 산화층의 경계가 명확히 구분된다. 즉 표면실리콘층과 기판이 매몰산화층으로 인하여 완전히 분리가 되었음을 말해준다. 그리고 표면실리콘층과 매몰산화층 아래의 실리콘층이 이온주입 과정에서 많은 손상을 받았음을 알 수 있다. 그러나 TED(Transmission Electron Diffraction) 분석결과, Fig. 5와 같이 표면실리콘층은 많은 손상을 받았고 또한 고농도의 산소를 포함하고 있음

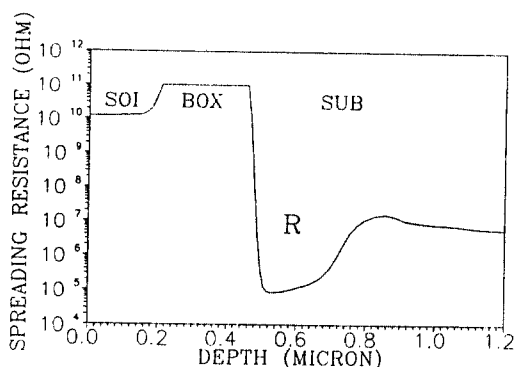


Fig. 6. Spreading resistance profile of an as implanted specimen.

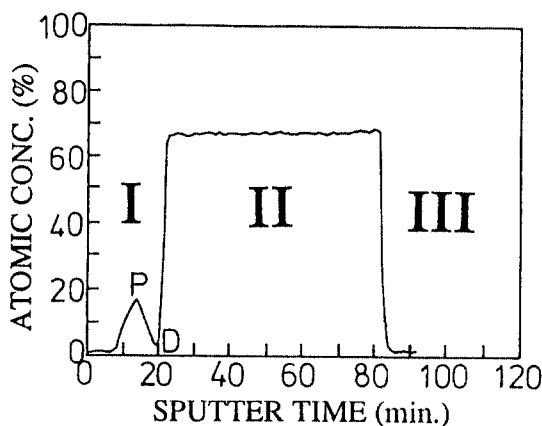


Fig. 7. Oxygen concentration profile of an annealed specimen by AES.

에도 불구하고 단결정의 회절패턴을 얻을 수 있었다. 더욱이 표면실리콘층과 매몰산화층 아래의 손상된 실리콘층 그리고 손상되지 않은 기판 내부에서 모두 동일한 방향의 단결정입을 나타내는 회절패턴을 얻을 수 있었다. 따라서 별도의 종자결정 없이 단순한 열처리만으로도 재결정화가 가능하다는 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 열처리되지 않은 시료의 도전특성을 관찰하기 위하여 행한 SRP 측정결과이다. 그림에 나타난 바와 같이 SOI층의 저항은 매우 높으며 매몰산화층 아래부분의 R로 표시된 곳에서는 저항이 기판 내부보다 오히려 낮음을 알 수 있다. 그리고 thermal probe로 전도형태를 조사한 결과 SOI층과 R영역은 원래 p형에서 이온주입 후 n형으로 바뀌었음을 알 수 있었다. SOI층과 R영역이 n형으로 바뀐 이유는

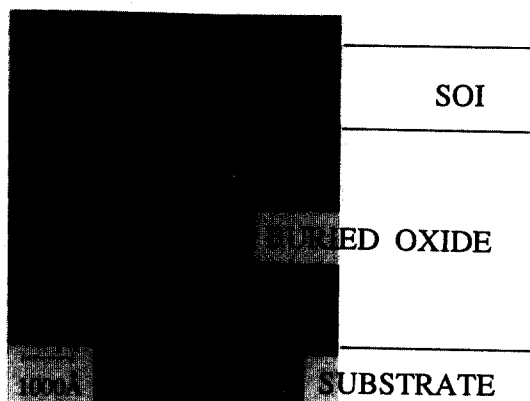


Fig. 8. Cross sectional TEM micrograph of an annealed specimen.

산소이온 주입이 550°C의 온도에서 행하여졌으므로 thermal donor가 생성되었기 때문이며, SOI층의 저항이 높게 나타나는 이유는 전술한 AES 분석 및 단면 TEM 분석에서 관찰한 바와 같이 고농도의 산소를 포함하고 있으며, 다량의 산소이온 주입으로 많은 결정결함이 생성되었기 때문으로 여겨진다. 그리고 R영역에서는 비교적 손상을 적게 받았으므로 저항이 낮게 나타난다고 추정된다. 또한 n형인 R영역과 p형인 기판이 pn접합을 이루므로 이 사이에서는 저항이 높게 나타난 것으로 생각된다.

Fig. 7은 열처리된 시료의 AES depth profile에 의한 산소의 농도분포이다. 열처리를 함에 따라 SOI층의 표면근처에서는 산소가 검출되지 않는 영역이 관찰되며 P로 나타난 부분에서는 산소농도가 피크를 이루고 매몰산화층과의 계면근처 D지점에서는 산소농도가 급격히 감소한 후 매몰산화층으로 이어진다. 한편 II-III 계면근처의 기판내에 존재하는 산소는 열처리를 함에 따라 매몰산화층으로 확산되어 계면이 뚜렷해진다. 이와 같이 열처리에 따라 SOI층의 산소는 외부로 out-diffusion 되거나 매몰산화층으로 흡수되어 그 농도가 감소하게 된다. 그리고 SOI층 내부에서 산소농도가 피크를 나타내는 현상은 다음과 같이 설명된다. 즉 매몰산화층은 산소이온 주입과정에서 SiO₂가 되지만 I-II계면은 산소가 불충분하여 불안정한 SiO_x(0<x<2)로 되므로 열처리과정에서 산소석출물의 거대한 sink로 작용한다. 따라서 비교적 크기가 큰 석출물도 쉽게 흡수하여 안정한 SiO₂로 되므로 D지점에서의 산소농도가 급격히 감소하고 산화층의

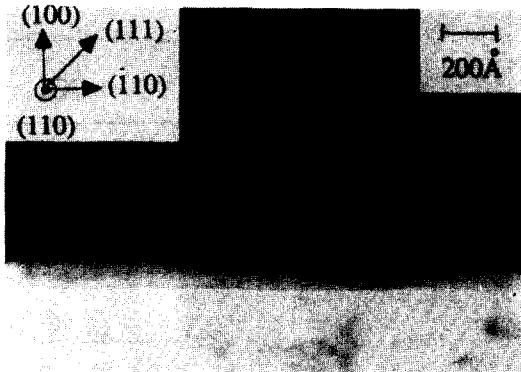


Fig. 9. Silicon precipitates in buried oxide layer.

두께가 증가하며 계면이 뚜렷해진다. 그러나 SOI층 내부의 산소석출물은 서로 흡수성장하므로 열처리에 따른 산소농도의 감소가 표면이나 I-II계면보다 느리게 진행되고 P지점에서 산소농도의 피크를 이루게 된다. 이와 같은 산소석출물의 성장은 뒤에 설명할 TEM 분석에서 확인할 수 있었다.

Fig. 8은 열처리된 시료의 단면 TEM 관찰상이다. 열처리를 행함에 따라 SOI층의 두께는 감소하였고 매몰산화층의 두께는 증가하였다. 그리고 SOI층의 표면 근처에서는 대부분의 결정결합이 회복되고 dislocation만이 존재함을 알 수 있다. 그러나 SOI층의 내부, P지점 근처에서는 많은 얼룩들이 관찰되며, 이들은 전술한 AES 분석결과와 비교해 볼 때, 열처리 과정에서 미세한 산소석출물들이 SOI층의 외부로 빠져나가지 못하고 서로 흡수성장되어 나타난 것으로 보인다. 한편 D지점, 즉 매몰산화층과의 계면에서는 이러한 석출물이 존재하지 않고 실리콘층과 산화층의 계면이 뚜렷이 나타났다. 그러나 매몰산화층과 기판과의 계면근처에서 매몰산화층 내에는 무수한 얼룩이 관찰되는데 이를 확대하여 Fig. 9에 나타내었다. 이들은 SiO_2 로 완전히 분리가 되어 있었고 {100}면과 {111}면의 facet을 가지는 육각형이었다. 이것들은 열처리과정에서 산소와 결합하지 못한 잉여실리콘이 석출되어 나타난 것으로, 내부산화가 진행될 때 결정면 간의 산화율이 다르므로 이와 같이 일정한 형태를 가진다고 추정된다.

Fig. 10은 열처리된 시료의 SRP 측정결과이다. 열처리에 따라 SOI층의 저항은 감소하여 표면에서는 기판 내부의 값과 비슷하게 나타났다. 그러나 SOI층의

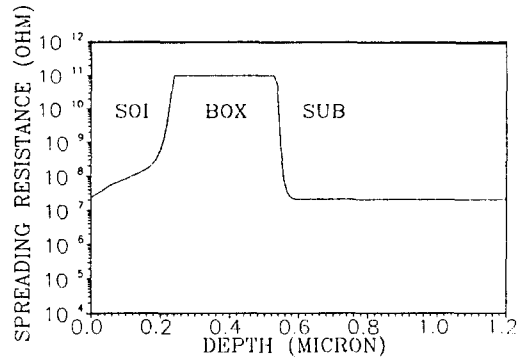


Fig. 10. Spreading resistance profile of an annealed specimen.

내부, 즉 AES/TEM 분석에서 관찰된 석출물이 존재하는 곳에서는 저항이 비교적 크게 나타나서 SOI층 내에서 저항분포는 균일하지 못하고 기울기를 가진다. 즉 열처리 후에 잔류하는 산소석출물이 SOI층의 도전특성에 영향을 미침을 말해준다. 한편 매몰산화층과 기판과의 계면에서 관찰된 낮은 저항층은 사라졌다. 이것은 이온주입 과정에서 생성된 thermal donor가 고온열처리과정에서 소멸되었기 때문으로 생각된다. 그러나 SOI층의 전도형태는 여전히 n형으로 나타났다. 이 원인은 위에서 설명한 바와 같이 고온의 열처리과정에서 R영역의 thermal donor가 소멸되었으므로 단순한 산소의 영향만은 아닌 것으로 보인다. 다만 이온주입 및 열처리과정에서 외부로부터 혼입될 수 있는 금속불순물, 질소, 탄소 등과 잔류산소의 복합적인 영향으로 보이지만[10], 이에 대해서는 앞으로 보다 철저한 분석이 요구된다.

이상의 실험결과로부터 산소이온 주입 후 열처리 과정에서 SOI층 내에 존재하는 산소의 sink 역할을 하는 것으로 보면, 매몰산화층계면, SOI층 내의 산소석출물 등을 생각할 수 있다. 그런데 실리콘 내에서 산소의 확산계수는 매우 커지므로[8] 본 연구의 열처리조건인 1250°C 에서 산소의 확산길이는 SOI층의 전체길이보다 길게 된다. 즉 열처리에 따라 SOI층 내의 산소농도가 감소되는 기구는 산소의 확산보다는 석출물의 성장소멸에 지배된다는 것을 알 수 있다. 그러므로 열처리에 의해 SOI층 내의 산소석출물을 분해시킬 수 있다면 산소는 SOI층 외부로 쉽게 확산되고 산소석출물이 존재하지 않는 양질의 SOI를 제조할 수 있다. 그리고 SRP 측정결과에서 살펴본 것과

같이 SOI층 내의 잔류 산소석출물은 SOI층의 전도 특성에 심각한 영향을 미치고 있다는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

산소이온이 주입된 웨이퍼를 1250°C에서 열처리하여 SIMOX SOI 구조를 제조하고 그 특성을 조사하였다. 실험결과, 이온주입 후 열처리를 행하지 않은 경우 SOI층 내에는 상당량의 산소가 존재하였으나, 단결정성은 유지하고 있었다. 그리고 열처리 전에도 SOI 층은 기판으로부터 완전히 분리가 되어 있었다. 열처리에 따라 SOI층 내의 산소농도는 감소하였으나 산소석출물이 관찰되었다. 열처리 후 이들 석출물이 존재하지 않는 SOI층의 표면에서는 기판과 비슷한 값의 저항을 얻을 수 있었으나 석출물이 존재한 곳에서는 저항이 크게 나타나 SOI층의 전도특성에 영향을 미치고 있음을 알았다. 그리고 열처리과정에서 이들 산소석출물을 분해시킬 수 있다면 산소는 쉽게 out-diffusion되고 양질의 SOI층을 얻을 수 있다는 것을 알았다.

참고문헌

1. S. L. Partridge, IEE proceedings, 133-I(3), 66

- (1986).
2. 이종현, 대한전자공학회지 14(4), 49 (1987).
 3. K. Izumi, M. Doken and H. Ariyoshi, *Elect. Lett.*, 14(8), 593 (1978).
 4. G. K. Celler, *Semiconductor Silicon 90*, 472 Edited by Huff *et al.*, (The Electrochem, Soc., Pennington, 199).
 5. A. Morgo-Campero, *J. Appl. Phys.* 61(2), 639 (1987).
 6. B. Y. Mao, P. H. Chang, C. E. Chen and H. W. Lam, *J. Appl. Phys.* 62(6), 2308 (1987).
 7. A. H. Hamdi, F. D. McDaniel, R. F. Pinizzotto, S. Matteson, H. W. Lam and S. D. S. Malhi, *IEEE Trans. Nuc. Sci.* NS-30(2), 1722 (1983).
 8. F. Shimura, *Semiconductor silicon crystal technology*, 161 (Academic press Inc. 1988).
 9. A. S. Grove, *Physics and technology of semiconductor devices*, 22 (John Wiley and Sons, Inc. 1967).
 10. S. Cristoloveanu, S. Gardner, C. Jaussaud, J. Margail, A. Auberton-Herve, and M. Bruel, *J. Appl. Phys.* 62(7), 2793 (1987).