

論文94-31A-8-11

Si⁺ 이온주입된 Si 기판의 결함형성 및 회복에 관한 연구 (Characteristics of Si⁺-self implant Induced Damage and Its Annealing Behavior)

金 光 一*, 李 瑞 煥**, 鄭 旭 珍**, 裴 泳 鎬**, 權 英 規**, 金 汜 晚***, 桑 野 博****

(Kwang Il Kim, Sang Hwan Lee, Wook Jin Chung, Young Ho Bae,
Young Kyu Kwon, Bum Man Kim and Hiroshi Kuwano)

要 約

Si 기판에 Si 이온을 주입하였을 때 형성된 결함 및 이를 급속열처리를 하였을 때 열처리 온도에 따른 결함의 성장 및 회복 양태를 단면 투과전자현미경과 RB (Rutherford backscattering) spectrum 을 이용하여 분석하였다. 이때 이온은 150keV와 50keV에서 $2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 을 주입 하였으며, 100keV에서 1×10^{14} 과 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 을 주입한 시료도 준비하였다. 이온주입 조건에 따라서 표면으로부터 연속적인 비정질층과 매몰된 비정질층이 형성되었으며, 또한 점결함 및 결함 cluster들이 형성되었다. 이들 이온주입된 시편들을 질소 분위기에서 각 10 초간 급속열처리 했을 때 점결함 cluster들은 550 °C의 낮은 온도에서도 소멸되어 회복되었으나, 표면에서부터 연속적인 비정질층은 열처리온도가 증가함에 따라 재결정화된 후 점차 결함이 회복되나 1100 °C에서도 end of range 전위가 관찰된다. 그리고 매몰 비정질층이 형성된 경우는 처음의 비정질/결정질 양 계면 으로부터 재결정화가 동시에 진행되어서, 재결정화된 면이 서로 만나 zipper모양의 전위를 형성하고 열처리 온도를 더욱 증가 시키면 이들이 부분적으로 끊어진 형태가 되어 회복되어 가나 완전히 회복되지 못하고 1100 °C 의 고온에서도 end of range 전위와 함께 남아있었다.

Abstract

Damage induced by Si ion implantation and its annealing behavior during rapid thermal annealing were investigated by cross-sectional TEM (transmission electron microscopy) and RB (Rutherford backscattering) spectrum. 150keV and 50keV Si ions were implanted in Si (100) at room temperature with doses of $2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$. And 100keV Si ions were implanted in Si with doses from 1×10^{14} to $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$. A variety of damage structures were generated by Si ion implantation such as continuous amorphous layer extending to the surface, buried amorphous layer and damage clusters. Damage clusters are annealed out at the lower annealing temperature of 550 °C. However, even at the temperature of 1100 °C, end of range loops remain in the original lower amorphous / crystal interface in the case of continuous and buried amorphous layer formation. Extended defects in the shape of zipper dislocations are also observed at the middle of the recrystallized region in the buried amorphous layer.

*正會員, 産業科學技術研究所 電子電氣研究分野
(Research Institute of Industrial Science
& Technology, Electronic Device Labs.)

**正會員, 韓國電子通信研究所 半導體研究團
(Electronics and Telecommunications Research
Institute, Semiconductor Technology Div.)

***正會員, 浦項工科大学 電子電氣工學科

(Pohang Institute of Science & Technology, Dept.
of Elec. Electronics)

****慶應義塾大學 理工學部電氣工學科
(Faculty of Science and Technology,
Keio University)

接受日字 : 1993年 8月 23日

I. 서론

이온주입법은 원하는 불순물 이온을 강제로 실리콘 등의 기판에 주입시키는 방법으로 반도체 소자의 제조에 널리 사용되고 있다. 이 방법은 불순물의 농도와 불순물 이온의 깊이방향분포를 정밀하게 조절할 수 있다는 장점을 가지고 있어서 최근 소자제조의 필수공정으로 자리를 굳히고 있다. 그러나, 집적회로의 미세화가 더욱 진행됨에 따라 얇은접합(shallow junction)형성의 필요성이 요구되고 있지만, boron 등 낮은 원자량의 이온을 이용하여 얇은접합을 형성하고자 할 때, 이온의 큰 비정거리(projected range)와 이온주입시 tail부근에서의 channeling 현상이 문제점으로 대두된다. 그래서, 최근 얇은접합을 형성하기 위하여 불순물 이온을 주입하기 전에 높은질량의 이온을 사용하여 사전에 비정질층(preamorphized layer)을 만드는 방법을 사용하기도 한다. 사전 비정질화에 필요한 이온은 높은 질량을 가져서 결합 생성에 필요한 임계에너지가 낮으며, 기판원자 및 주입된 불순물원자에 영향을 미치지 않아야 하므로 주로 Si^[14], Ar^[15], Ge^[67] 등의 불활성 이온을 사용하며, 이때 형성된 비정질층이 주입되는 불순물 이온의 channeling을 방지하여서 얇은접합 형성을 가능하게 한다.

그리고 주입된 불순물 이온의 완전한 전기적활성화와 반송자의 이동도(mobility)회복을 위하여 열처리를 행하며 이때 소자의 동작특성에 나쁜 영향을 미치는 이온주입 유기결합이 완전히 제거 되어야 한다. 열처리과정 중에 불순물이온이 깊게 확산되어 들어가는 것을 방지하기 위하여 급속열처리(rapid thermal annealing)를 행한다. 그러나, 특히 불순물 이온주입전에 사전 비정질층을 형성했을때의 문제점으로는 비정질층의 고상에피성장(solid phase epitaxy)이 끝난후, 최초의 비정질/결정질 계면이 있던 위치에 환형의 end-of-range 전위 가 형성되는 등 이차결합이 생성되는 것이다.^[8] 이들 이차결합들은 접합에서 누설전류를 증가시키며 주로 과잉격자간 실리콘 원자들에 의한 것 이라고 생각되고 있으나 명확한 발생원은 밝혀져 있지 않은 상태이다. 그러므로 Si 등의 불활성이온 주입 시 형성되는 결합의 종류 및 급속열처리에 따른 결합의 회복과 이차결합의 종류 및 그 회복기구를 분석하는 것은 중요하다고 생각되나 많은 연구는 행해지지 않은 상태이다.^[9-11]

본 연구에서는 Si 이온을 여러 조건에서 주입했을때 형성되는 결합과 회복, 급속열처리 과정에서의 이차결합의 생성 및 소멸과정을 단면 투과전자현미경(TEM: transmission electron microscopy) 과

Rutherford Backscattering (RB) spectrum 을 이용하여 분석하고자 하였다.

II. 실험방법

본 실험에서는 4인치, p-type(100) Cz 실리콘 웨이퍼를 기판으로 사용했으며 비저항은 10-20Ω - cm 였다. Si 이온은 가속에너지 100 keV에서 dose량 1 X 10¹⁵ cm²과 1 X 10¹⁴ cm² 로 기판에 주입하였다. 그리고 가속에너지 150 keV와 50 keV에서 dose량 2 X 10¹⁵cm²으로 이중주입(double implantation)한 기판도 준비 하였다. 이온주입시 기판을 7° tilt 하였으며, 이때 온도는 상온이 유지 되도록 하였다. 이온주입이 끝난 기판은 AG Heat pulse 열처리 장치를 이용하여 질소 분위기 에서 각 10초간, 550 - 1100 °C의 온도범위에서 급속열처리 하였다.

열처리가 끝난후 이온주입에의해 유기된 결합의 형태 및 이차결합의 생성과 소멸 등의 결합회복과정을 단면 TEM 과 RB spectra 를 이용하여 분석하였다. 단면 TEM 관찰용 시편의 준비는, 시편을 원하는 결정면에 따라서 절단한 후 이온주입된 면이 서로 마주보도록 2 ton epoxy를 사용하여 접합한후 시편의 두께가 100 μm 이하가 될때 까지 연마제로 경면연마 하였다. 연마가 끝난 시편은 grid에 접촉한 후 시편의 관찰면을 깨끗히 cleaning하였다. 시편이 접촉된 grid를 Gatan dual ion mill 600 장치에서 Ar이온을 사용하여 접합면 중앙부에 hole이 생길 때 까지 양면을 동시에 ion etching하였다. 이렇게 준비된 시편은 JEOL사의 JEM 200CX투과전자현미경을 사용하여 관찰하였다. RB 이온 channeling 분석 에서는 2.236 MeV의 4 He⁺이온이 사용되었고 검출각은 165° 및 110° 였다.

III. 결과 및 고찰

그림 1(a)에 가속에너지 150 keV와 50 keV에서 dose량 2 X 10¹⁵ cm²으로 Si 이온을 주입한 기판의 단면 투과전자현미경 상을 나타내었다. 이온주입한 상태에서 약 280 nm정도의 손상층이 기판의 표면으로부터 형성되어 있다. 이 손상층은 그림 1(b)의 고배율 전자현미경 상으로부터 비정질화 되어있음을 확인할 수 있었다. 그러나 이때 형성된 비정질층과 기판내부의 결정질층 사이에서 계면이 평탄하지 못하고 거칠게 나타났으며 전이영역(transition region)이 크다는 것을 알수있다. 이로서 상온에서 이온주입할 때, 특히 다중으로 이온주입할때에 dynamic heating 에 의한 annealing효과가 크게 나타남을 알 수 있다. 그리고

비정질/결정질 계면아래에도 이온주입에 의해 유기된 결함의 cluster로 보이는 부분들이 형성되어서 기판내부로 갈수록 점차 감소하고 있음을 알 수 있다.

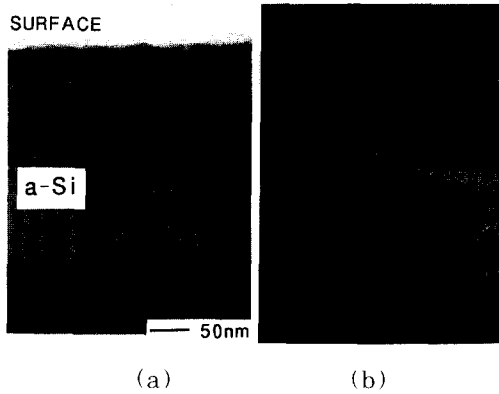


그림 1. 가속에너지 150 keV와 50 keV에서 dose량 $2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 으로 Si 이온을 주입한 기판의 (a)단면 투과전자현미경 상과 (b)비정질/결정질 계면의 고배율 투과전자현미경 상

Fig. 1. (a)XTEM micrograph of continuous amorphous layer formed by 150 keV and 50 keV Si ion implantation at a dose of $2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ at a room temperature and (b)high resolution XTEM at the amorphous/crystalline interface.

그림 2는 위의 시료들을 급속열처리 장치에서 10초간 질소 분위기로 열처리 했을 때 온도에 따른 비정질층의 고상에피성장에 의한 재결정화 및 2차결함의

생성, 소멸과정을 단면 투과전자현미경으로 관찰한 결과이다. 575 °C에서 열처리한 시편의 단면 확대 상으로 부터 이온주입에 의해 기판표면으로 부터 연속적인 비정질층이 형성되었을 때 기판 내부의 비정질/결정질 계면으로부터 표면으로 재결정화가 진행됨을 알 수 있다. 그러나 재결정화가 진행되면서 처음에 거칠게 형성되었던 비정질/결정질 계면이 평탄해지고 있음을 알 수 있다. 이와같은 현상은 계면 전이영역에서 방향성이 없이 존재하던 원자들이 급속열처리과정중에 일정한 방향성을 가지면서 재배열되는 incubation regrowth⁹⁾가 일어나서 생긴 현상으로 설명할 수 있다. 그러나 그림을 보면 알 수 있듯이 재결정화가 진행되어도 처음 계면이 있던 위치에 많은 점결함 cluster들이 관찰되고, 700°C 열처리에서 이미 재결정화가 완료되었다. 950°C에서는 계면의 아래쪽 기판부에 남아있던 많은 결함들이 소멸되어 회복되고 있으나 계면부근에 남아있던 점결함 cluster들이 전위환(dislocation loop)으로 성장하고있다. 이들 전위환들을 700에서 1100°C까지 열처리한 시편들의 단면 상을 비교해 보면 열처리온도가 증가함에 따라서 평균직경이 커지고 밀도는 상대적으로 감소하고있다. 이 결함들은 end-of-range전위¹²⁾로 알려져 있으며 1100°C의 고온에서도 그림과 같이 완전히 분해되지 않고 남아있음을 알 수 있다.

그림 3은 Si 이온을 가속에너지 150 keV와 50 keV에서 dose량 $2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 으로 주입한 후 600에서 675°C까지 급속열처리 했을때 얻어진 RB spectra를 random spectra와 함께 나타낸 그림이다. 이 경우 channeling spectra는 2.236 MeV He 이온 beam을 <100>축과 정렬해서 얻어진 결과이며, random spectrum의 수율은 원자가 완전히 무질서하게 정렬된 기판으로 부터 얻어지는 값으로,

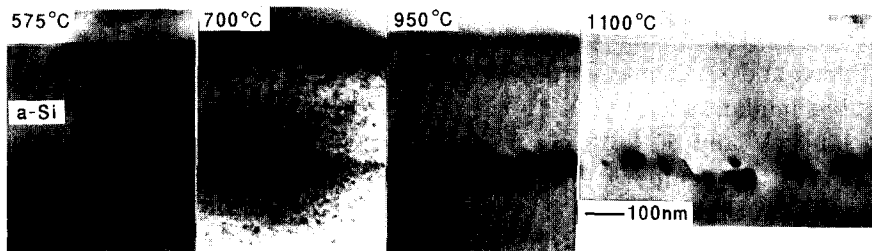


그림 2. Si 이온을 가속에너지 150 keV와 50 keV에서 dose량 $2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 으로 이온주입한 후 온도범위 575에서 1100 °C 까지 급속열처리 했을 때 재결정화 및 결함의 생성, 소멸 과정을 관찰 하기 위한 단면 투과전자현미경 상

Fig. 2. XTEM micrograph showing the recrystallization of amorphous layer and the annealing behavior of the secondary defects at the temperature range from 575 to 1100 °C.

만약 channeling spectrum의 수율이 random 수율과 같으면 그 영역은 비정질 상태임을 나타낸다. 그리고 channeling spectrum의 수율이 virgin 결정중에서 얻어진 channeling spectrum의 수율과 같으면 그 시편이 완전한 결정성을 가지고 있음을 나타낸다.^[12] 그림으로 부터 처음 이온주입을 하였을 때는 기판 표면으로 부터 일정깊이까지 비정질화되어 있음을 알 수 있다. 그리고 열처리 온도가 650℃ 까지 증가함에 따라 기판내부의 비정질/결정질 계면에서 부터 표면쪽으로 재결정화가 진행되어서 그 비정질층의 두께가 점차 작아지고 있음을 알수있다. 675℃에서는 재결정화가 완료되나, 처음 계면이 있던 부근에 dechanneling^[13]의 양이 증가함을 알 수 있다. 이는 계면부근에 남아있는 점결함 cluster등에 의해 유기된 것으로 생각된다.

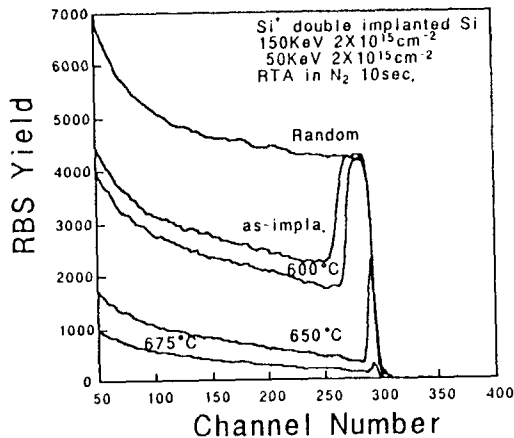


그림 3. 가속에너지 150 keV와 50 keV 에서 dose량 $2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 으로 이온주입 후 600에서 675 °C 까지 급속열처리한 시편 으로부터 검출된 RB aligned spectra와 random spectra

Fig. 3. Aligned and random spectra, after double implantation ($2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ at 150 keV and 50 keV and annealed at the temperature range between 600 and 675 °C.

열처리 온도가 높아짐에 따라 결함이 회복되므로 RB 수율이 낮아진다. 그러므로 세로의 수율 측을 확대하여 850 과 1100℃ 에서 열처리한 시편에서 얻어진 spectra의 수율을 그림 4에 나타내었다. 1100℃에서 열처리 했을 때는 850℃에서 열처리 했을 때 보다 결함이 소멸되는 징후는 보이나 처음의 계면부근에서

여전히 많은 dechanneling현상을 보이고 있다. 이는 점결함 및 과잉 격자간 Si 원자들이 서로 흡수성장한 후 소멸되는 과정을 거치고 있으나 여전히 end-of-range전위의 형태로 결함이 남아있기 때문이다.

앞에서의 단면 TEM 과 RB spectra의 분석 결과로 부터 Si 이온을 150 keV와 50keV에서 dose량 $2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 으로 이중주입 했을 때, 기판 표면으로부터 연속적인 비정질층이 형성되고, 열처리 온도가 증가함에 따라서 비정질/결정질 계면으로부터 기판 표면으로 재결정화가 진행됨을 알수있다. 그리고 재결정화는 675℃에서 완료되었으며, 재결정화가 끝난 후 열처리온도가 계속 증가되면 계면부근에 남아있던 점결함 cluster등이 서로 흡수 성장하여서 다시 소멸되는 과정으로 결함이 회복되고 있음을 알 수 있다. 그러나 1100℃의 고온에서도 end-of-range 전위 형태의 결함은 완전히 회복되지 않았다.

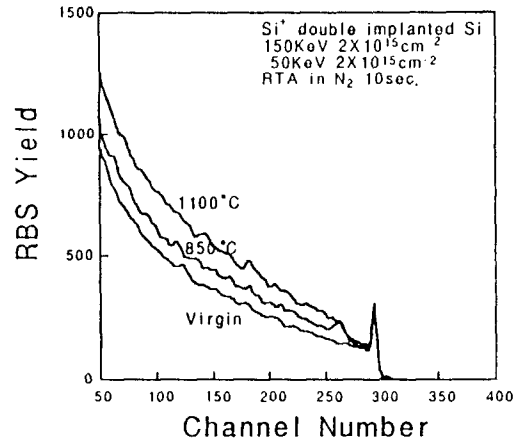


그림 4. 가속에너지 150 keV와 50 keV 에서 dose량 $2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 으로 이온주입 후 850과 1100°C 에서 열처리 했을때 얻어진 RB spectra

Fig. 4. RB (Rutherford backscattering) spectra from the samples which annealed at the temperature range from 850 to 1100°C.

그림 5에 Si 이온을 100 keV로 가속시켜서 dose량 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 으로 이온주입했을 때 형성된 결함과 이온주입이 끝난 후 질소분위기속에서 10초간, 500에서 650℃까지 급속 열처리했을 때의 단면 투과현미경 상을 나타내었다. 이온주입된 상태에서 기판 표면으로부터 결함 cluster가 관찰되고 표면 약 50nm의 깊이부터 150nm까지 약 100nm의 결함층을 형성한 후, 다

시 기관내부에 결함 cluster들이 관찰되고 있으나 기관내부로 갈수록 점차 감소하고 있다. 이 손상층의 결정성을 확인하기 위하여 국소 전자회절 패턴(selected area diffraction pattern)을 조사한 결과, 이 손상층이 비정질화 되어서 일정두께의 매물 비정질층을 형성하고 있음을 알 수 있다. 그러나 이 손상층의 표면쪽 계면과 기관 내부의 계면이 급준하지 못하고 비정질과 결정질이 혼재한 상태임을 그림에서 쉽게 알수있다.

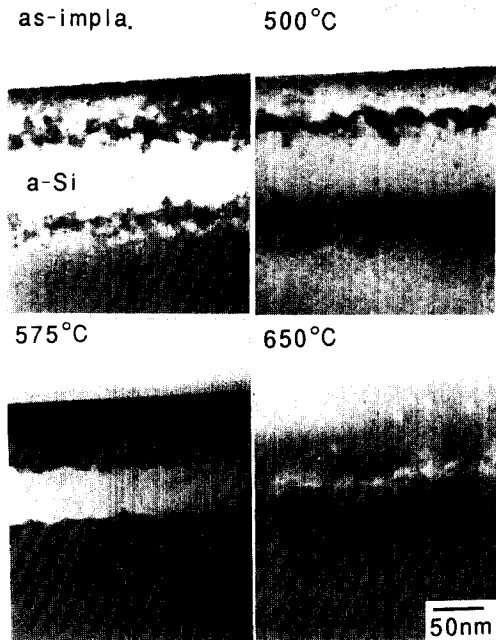


그림 5. Si 이온을 100keV로 가속 시켜서 dose량 $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ 으로 이온주입 했을 때 형성된 결함과 이온 주입이 끝난 후 질소분위기에서 10초간, 500에서 650°C 까지 급속열처리 했을 때의 단면 투과전자현미경 상

Fig. 5. XTEM micrograph showing the buried amorphous layer formed by 100 keV Si ion implantation at a dose of $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ and samples annealed at the temperature range between 500 and 650 °C for 10sec.

500°C의 낮은 온도에서 10초간 급속열처리 했을 때 이들 계면들이 이온주입된 상태 보다는 좀더 평탄해지고 있어서, 계면에서 어느정도의 원자 재배열이 이루어지고 있다고 생각한다. 이로서 500°C에서도 incubation regrowth가 시작되고 있음을 알 수 있다. 그

러나 이 밖에 고상 에피성장에 의한 본격적인 재결정화는 거의 일어나지 않고 있다. 표면쪽 결정층에서는 이온주입에 의한 손상이 많이 회복되고 있으나, 기관내부쪽 계면부근에서는 원자들의 재배열과 함께 손상영역에서 많은 결함 cluster들이 관찰된다. 575°C에서부터는 본격적으로 양 계면으로부터 비정질층의 중앙부로 재결정화가 진행되고 있다. 이때 계면은 점차 평탄해지므로 열처리중에 incubation regrowth가 계속되고 있음을 알 수 있다.

또한 기관내부쪽 계면부근에서 산재한 결함 cluster들이 관찰되기는 하나 많은 회복을 보이고있다. 650°C에서 열처리 했을 때 재결정화가 완료되나 비정질층의 중앙부에 zipper모양의 결함이 형성된다. 이는 양 계면에서 진행된 재결정층의 결정성장 방향이 완전히 일치하지 않아서 생기는 misfit에 의한 전위로 생각된다.

그림 6에 재결정화가 완료되는 온도보다 높은 온도인 700 에서 1100°C 까지 급속열처리 했을 때의 시편의 단면 투과전자현미경 상을 나타내었다. 700°C에서 열처리를 했을 때도 zipper모양의 전위는 회복되지 않고, 기관내부쪽 계면이 있던 위치에 막대모양(rod-like)의 전위와 전위환들도 관찰된다. 900°C 열처리에서, zipper모양의 전위는 부분적으로 끊어진 형태로 회복을 보이고 있다. 이는 Ar이온을 가속에너지 1 MeV, dose량 $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ 으로 주입했을 때 유기된 매물 비정질층의 열처리 후 형성한 zipper모양의 전위와는 다른 거동이다. Ar이온주입의 경우 매물 비정질층의 상하계면에서 고상에피성장에 의해 재결정화가 진행되어서 zipper모양의 전위를 형성하나, 상하의 비정질/결정질 계면으로부터 머리핀모양의 전위가 성장하여서 열처리온도가 높아짐에 따라 zipper모양의 전위를 800°C 부근에서 완전히 get-tering 한 후 점차 소멸되었다.¹⁴⁾ 그러므로 본실험 결과와 비교 했을 때 머리핀모양의 전위의 생성 정도에 따라 zipper전위의 소멸기구가 다르다는 것을 알 수 있다. 그리고 처음 기관내부쪽 계면이 있던 위치에서 전위환들이 커지고 있다. 이는 앞에서 관찰한 Si 이온 이종주입의 경우와 마찬가지로 기관내부쪽 계면부근의 결함들이 서로 흡수 성장해서 생긴 end-of-range전위로 생각된다. 그러나 처음 표면쪽 계면에서는 그와 같은 결함의 성장 없이 바로 회복되고 있다. 이는 작은 결함 cluster들이 열처리 온도가 증가함에 따라서 표면쪽으로 확산되어 소멸되기 때문이라고 생각된다. 900°C에서는 특히 전위환 아래부근에서 막대모양의 전위가 많이 관찰되는데 이는 boron 과 이온주입에 의해 유기된 과잉 격자간 Si원자가 결함해서 형성된 이차결함¹⁶⁾ 으로 알려져 있으나 좀더 많은 검토가 필요한 부분이라 생각된다

다. 1000℃에서 열처리 했을 때, 끊어진 zipper모양의 전위는 전위환을 이루면서 조금씩 회복되고, end-of-range전위는 평균직경이 커지나 부근의 막대모양전위는 관찰되지 않는다. 이는 end-of-range전위가 부근의 막대모양전위를 흡수하여 성장하였기 때문이라고 생각된다. 1100℃의 고온에서 열처리했을 때 전위환을 형성하던 zipper모양의 전위가 다시 분해되면서 표면 쪽으로 확산되어 소멸되는 양상을 보이고 있으며 end-of-range전위도 점차 회복되고있다. 그러나 매물 비정질층의 경우가 이중이온주입에 의해 표면에서부터 연속적인 비정질층을 형성했을 때와는 달리, 고온열처리에서도 zipper모양의 전위가 변형된 형태로 남아있어서 결함회복이 좀더 어려움을 알 수 있다.

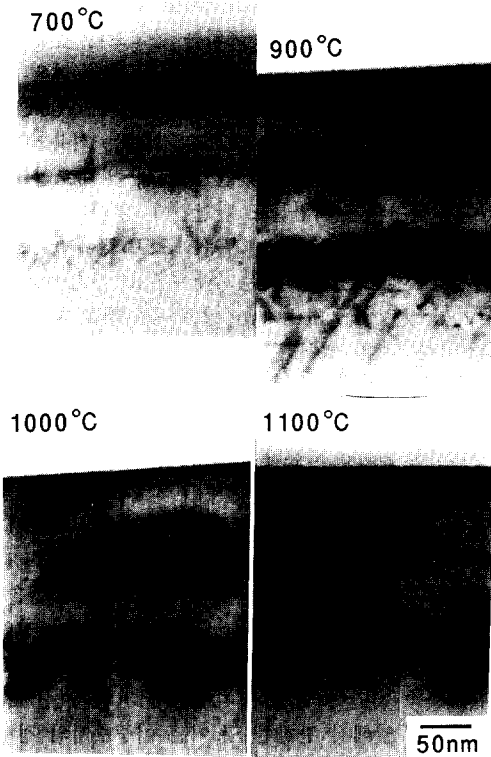


그림 6. 재결정화가 완료되는 온도보다 높은 온도인 700에서 1100℃ 까지 급속열처리 했을 때의 단면 투과전자현미경 상

Fig. 6. XTEM micrograph of samples annealed at the temperature range from 700 to 1100°C for 10 sec which are higher than the temperature of complete recovery of amorphous layer occurs.

그림 7에 Si 이온을 가속에너지 100 keV에서 dose량 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 으로 주입한후 급속열처리 하였을 때 온도에 따른 RB spectra를 나타내었다. 이온주입한 상태에서 매물 비정질층이 형성되어 있음을 알 수 있다. 여기서 비정질 피크의 위치가 spectrum 표면으로부터 좌측으로 약간 shift 되어 있음을 볼 수 있다. 이는 TEM 에서 관찰된 바와 같이 표면 부근은 어느정도의 결정성을 띄고 있기 때문이다. 575℃에서 열처리했을 때 양 계면으로부터 점차 비정질층의 두께가 얇아져서 650℃에서는 재결정화가 완료되었으나 처음 비정질층의 중앙부 근처에서 dechanneling현상이 많이 일어나고있다.

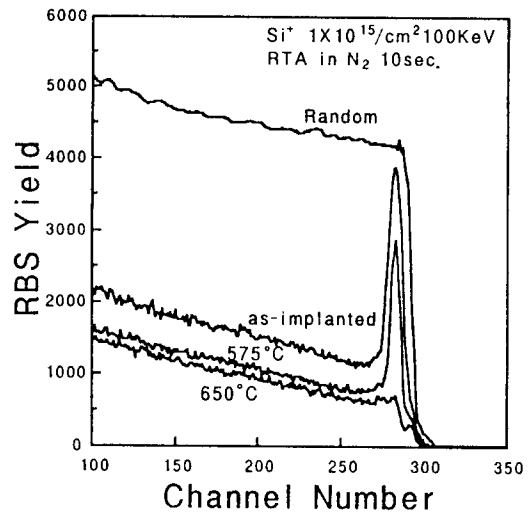


그림 7. Si 이온을 가속에너지 100 keV에서 dose량 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 으로 주입한 후 급속열처리 하였을 때 온도에 따른 RB spectra

Fig. 7. RB spectra obtained from the samples which implanted at a dose of $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ with 100 keV energy and rapid thermally annealed.

650℃ 보다 높은 온도에서는 RB spectra의 수율이 작아짐으로 재결정화후 900에서 1100℃까지 급속열처리한 시편에서 얻어진 spectra의 수율을 확대하여 그림 8에 나타내었다. 그림에서 1000℃까지는 dechanneling피크가 있으나 1100℃에서는 결함이 완전히 회복되어 virgin spectra와 같아진다.

앞의 단면 TEM결과와 RB spectra로 부터 Si 이온을 100keV에서 dose량 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 으로 주입했을 때, 매물 비정질층이 형성되고 열처리온도가 올라

감에 따라서 표면과 기판 내부쪽 비정질/결정질 양 계면으로부터 비정질층의 중앙부로 재결정화가 동시에 진행됨을 알 수 있다. 재결정화는 650°C에서 완료되었으나, 두개의 재결정면이 만나서 zipper모양의 전위를 형성하였다. 이 zipper모양의 전위는 열처리 온도가 올라감에 따라 부분적으로 끊어져서 전위환을 이룬후 다시 분해되어 기판 표면쪽으로 확산하면서 소멸되는 경향을 보이고 있다. 그러나 1100°C의 고온에서도 end-of-range전위와 함께 완전히 회복되지 않았다.

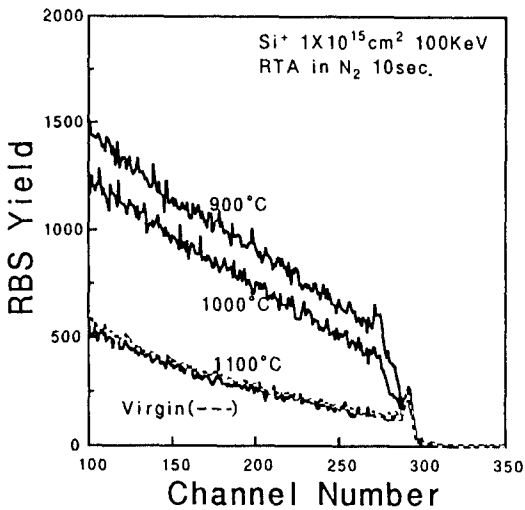


그림 8. Si 이온을 가속에너지 100 keV에서 dose량 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 으로 주입한 후 900에서 100°C 까지 급속열처리한 시편의 RB spectra

Fig. 8. RB spectra obtained from the samples which implanted and annealed at the temperature range between 900 and 1100°C.

그림 9에 Si기판에 Si이온을 dose량 $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ 에서 100keV로 가속하여 주입한 시편과 이온주입이 끝난 후 550°C로 급속열처리 하였을 때의 RB spectra를 나타내었다. 이온주입한 상태에서 표면부근에 약간의 결함이 존재하나 550°C에서 열처리 했을 때는 이미 거의 소멸되어 virgin spectra와 같아진다. 단면 TEM 관찰에서는 이온주입 시편 및 열처리 시편에서 결함을 발견할 수 없었다. 이로서 Si이온을 $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ 의 dose량으로 100 keV에서 주입했을 때는 TEM으로 관찰할 수 없을 정도의 작은 점결함 및 그 cluster등이 발생되나 곧 분해, 소멸된다고 생각된다.

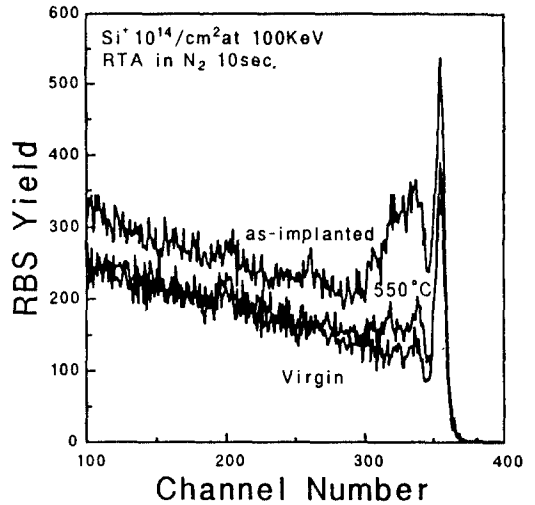


그림 9. Si 기판에 Si 이온을 dose량 $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ 로 가속하여 주입한 시편과 이온주입 후 550°C로 급속열처리 하였을 때의 RB spectra

Fig. 9. Aligned spectra, after implantation of Si ions at a dose of $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ with 100 keV energy and annealed at the temperature 550°C.

IV. 결론

Si 이온을 가속에너지 100keV로 dose량 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 과 $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ 에서 이온주입한 시편과 가속에너지 150keV와 50keV에서 dose량 $2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 을 이중이온주입한 실리콘 기판을 투과전자현미경과 RB 이온 channeling 장치를 이용하여 결합회복과정을 비교, 분석한 결과 다음과 같은 사실을 밝혔다.

150keV와 50keV에서 dose량 $2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 을 이중 이온주입했을 때 표면에서부터 연속적인 비정질층이 형성되었으며, 이를 급속 열처리했을 때 비정질/결정질 계면으로부터 표면쪽으로 재결정화가 진행되어서 675°C에서 완료되었다. 그러나 100keV에서 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 으로 주입했을 때는 매몰 비정질층이 형성되어서, 매몰비정질층의 상하계면으로부터 동시에 재결정화가 진행되어서 650°C에서 완료되나 두 재결정면이 만나서 zipper모양의 전위를 형성한 후 부분적으로 끊어진 형태가 되어 회복되어 가지만 1100°C의 고온에서도 완전히 분해되지 않았다. 그리고 비정질층이 형성된 두경우 모두 기판내부쪽 계면이 있던 위치에 end-of-range전위를 형성하여서 이들 결합

역시 고온 열처리에서도 소멸되지 않았다. 그러므로 매물 비정질층 보다 표면에서 부터 연속적인 비정질층이 형성되었을 때 결함의 회복이 쉬우며 600에서 700℃ 사이에서 재결정화가 완료됨을 알 수 있다. 그러나 가속에너지 100keV에서 dose량 $1 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ 으로 주입한 경우에는, 이온주입에 의해 점결함 및 그 cluster들이 유기된다고 생각되나 550℃ 이상이 되면 곧 소멸되었다.

參考文獻

- [1] T. E. Seidel, "Rapid thermal annealing of BF_2 implanted, preamorphized silicon", *IEEE Electron Device Lett.*, vol. **EDL-4**, no.10, pp. 353-355, 1983.
- [2] C. Carter, W. Maszara, D. K. Sadana, G. A. Rozgonyi, J. Liu and J. Wortman, "Residual defects following rapid thermal annealing of shallow boron and boron fluoride implants into preamorphized silicon", *Appl. Phys. Lett.*, vol. **44**, no.4, pp. 459-461, 1984.
- [3] I. W. Wu, R. T. Fulks and J. C. Mikkelsen, Jr., "Optimization of BF_2 implanted and rapidly annealed junctions in silicon", *J. Appl. Phys.*, vol. **60**, no.7, pp. 2422-2438, 1986.
- [4] T. O. Sedgwick, A. E. Michel, V. R. Deline, S. A. Cohen and J. B. Lasky, "Transient boron diffusion in ion-implanted crystalline and amorphous silicon", *J. Appl. Phys.*, vol. **63**, no.5, pp.1452-1463, 1988.
- [5] A. Milgram and M. Delfino, "Effect of argon implantation on the activation of boron implanted in silicon", *Appl. Phys. Lett.*, vol. **42**, no.10, pp. 878-880, 1983.
- [6] D. Wen, S. H. Goodwin-Johansson and C. M. Osburn, "Tunneling leakage in Ge-preamorphized shallow junctions", *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. **ED-35**, no.7, pp. 1107-1115, 1988.
- [7] M. C. Ozuturk, J. J. Wortman, C. M. Osburn, A. Ajmera, G. A. Rozgonyi, E. Frey, W. Chu and C. Lee, "Optimization of the germanium preamorphization conditions for shallow-junction formation", *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. **ED-35**, no.5, pp. 659-668, 1988.
- [8] D. K. Sadana, "Defect structures and electrical behavior of rapid thermally annealed ion implanted silicon", *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, vol. **92**, pp.319, 1987.
- [9] D. M. Maher, R. V. Knoell, M. B. Ellington and D. C. Jacobson, "Extended defects in amorphized and rapid-thermally annealed silicon", *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, vol. **52**, pp.93-105, 1986.
- [10] I. Suni, H. Ronkainen, S. Eranen, T. Murto, CH. Krontiras and M. Finetti, "Effect of preamorphization depth on channeling tails in B⁺ and As⁺ implanted silicon", *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, vol. **45**, 1985.
- [11] D. K. Sadana, "Germanium implantation into silicon", *J. Electrochem. Soc.*, vol. **131**, no.4, pp. 943-945, 1984.
- [12] P. Revesz, M. Wittmer, J. Roth and J. W. Mayer, "Epitaxial regrowth of Ar-implanted amorphous silicon", *J. Appl. Phys.*, vol. **49**, no.10, pp. 5199-5206, 1978.
- [13] L. C. Feldman, J. W. Mayer and S. T. Picraux, "Materials Analysis by Ion Channeling", Academic Press 1982.
- [14] 金光一, 權英規, 裴泳鎬, 鄭旭珍, 金祀晚, 桑野博, "1 MeV argon 이온주입에 의해 유기된 결함 및 회복기구의 XTEM 분석", *電子工學會論文誌*, 第30卷 A편 제8호, pp.131-137, 1993년 8월

 著者紹介

金光一(正會員) 第 30卷 A編 第 8號 參照

현재 산업과학기술연구소 전자전기
연구분야 주임연구원

•

鄭旭珍(正會員) 第 30卷 A編 第 8號 參照

현재 산업과학기술연구소 전자전기
연구분야 주임연구원

•

權英規(正會員) 第 30卷 A編 第 8號 參照

현재 산업과학기술연구소 전자전기
연구분야 책임연구원

•

桑野博(正會員) 第 30卷 A編 第 8號 參照

현재 게이오대학 이공학부 전기공
학과 교수

李瑞煥(正會員)

1958年 1月 5日生. 1981年 2月 경북대학교 전자공학과 졸업(학사). 1987年 2月 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1987年 2月 ~ 현재 한국전자통신 연구소 선임연구원. 주관심 분야는 반도체 재료, 소형 가속기 응용, 물성분석 등임.

•

裴泳鎬(正會員) 第 30卷 A編 第 8號 參照

현재 산업과학기술연구소 전자전기
연구분야 주임연구원

•

金汜晚(正會員) 第 30卷 A編 第 8號 參照

현재 포항공과대학 전자전기공학과
교수