

論文93-30A-11-13

비소 비정질화 방법에 의한 얇은 p⁺-n 접합의 형성과 특성분석(Formation of the Shallow p⁺-n Junction by As-
Preamorphization Method and Its Characterization)

權 相 直

(Sang Jik Kwon)

要 約

얇은 p⁺-n 접합을 형성하는데 있어서 낮은 에너지로 B⁺ 이온주입시 발생하는 채널링 현상을 피하기 위하여 As⁺에 의한 preamorphization 방법을 적용하였다. As⁺ 이온을 60keV의 에너지, $2 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ 의 도우즈로 미리 이온주입(pre-implant) 함으로써 10keV/ $1.5 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ 으로 이온주입되는 B⁺이온의 채널링을 완전히 방지할 수 있었다. 그리고 1050℃에서 10초간 RTA 후에는 누설전류가 20nA/cm^2 (-5V에서)이고 접합깊이가 $0.14 \mu\text{m}$ 이며 면저항이 $107 \Omega/\square$ 인 p⁺층의 형성이 가능하였다. 또한 비정질화된 Si층은 RTA 후 완전한 결정성으로 회복되었다.

Abstract

In the formation of the shallow p⁺-n junction, the preamorphization method by As⁺ ions was applied in order to avoid the boron channeling effect which is occurred during the B⁺ implantation especially with low energy. By As⁺ pre-implant with 60keV energy and $2 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ dose, the channeling of B⁺ ions implanted with 10keV/ $1.5 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ can be avoided completely. After the RTA of 1050℃ and 10sec, the junction depth was $0.14 \mu\text{m}$, the leakage current was 20nA/cm^2 (at -5V bias) and the sheet resistance was $107 \Omega/\square$. And the preamorphized Si layer was changed into the perfect crystal Si after the RTA.

1. 서 론

소자 치수(device dimension)를 스케일링 다운(scaling down) 시킴에 있어서 'constant-field scaling' 법칙에 의하면, 유효 채널길이, L_{eff} 가 $0.25 \mu\text{m}$ 인 MOSFET가 안정적으로 동작하기 위해 적합한 소오스(source) 및 드레인(drain)의 접합깊이 X_j

는 약 $0.10 \mu\text{m}$ 정도 요구된다.^[1,2] 그 이하 수치의 L_{eff} 를 갖는 MOSFET가 안정적으로 동작하기 위해서는 X_j 도 스케일링 다운되어야 하나 제조상 기술적 어려움으로 선형적 스케일링 다운이 힘들게 된다. 특히 CMOSFET의 p-채널 소자의 경우는 p⁺-n의 얇은 접합을 형성하기 위해 B⁺ 이온을 주입하게 되며 수 keV 이하의 매우 낮은 이온주입 에너지가 요구된다. 그러나 B⁺ 이온주입 에너지를 낮추는 데는 몇 가지 문제점이 있는데 첫째, 5keV 이하의 이온주입기에 대한 상업성 여부가 문제이며 둘째, 매우 낮은 에너지의 이온주입이 가능하다 하더라도 이온주입시 Si

*正會員, 暎園大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Kyungwan Univ.)
接受日字 : 1993年 5月 20日

표면이 스퍼터링(sputtering)될 가능성이 있으며 셋째, $0.10\mu\text{m}$ 이하의 p-n 접합깊이는 거의 확산에 의해 지배되기 때문에 극히 낮은 에너지가 그렇게 실효성이 없다는 것 등이다. 또한 낮은 에너지로 이온 주입되는 B 이온의 채널링(channeling) 현상 및 어닐링(annealing)시 발생하는 높은 재분포화(redistribution) 현상들이 p-n의 얇은 접합형성을 매우 어렵게 만든다. 이에 비해 n채널 소자의 소오스/드레인 영역에 해당되는 n-p 접합은 As⁺ 이온의 높은 질량 및 낮은 확산계수 등으로 인해 얇은 접합의 형성이 비교적 쉽다.

p-n의 접합깊이를 줄이기 위해서는 B⁺ 이온주입 에너지를 낮추거나 어닐링 온도를 낮추는 것 외에도 다른 방법이 필요하다.^[9-7] p-n의 얇은 접합을 형성하는데 관련된 문제들을 최소화하기 위해 여러가지 접근방법들이 개발되어 왔다.

첫째로, 20nm 정도의 얇은 스크린 산화막을 통해 B⁺ 이온을 주입함으로써 주입된 도펀트(dopant)의 분포를 실리콘 표면 가까이 둘 수 있다는 것이다. 그런데 이 방법은 산화막 내에 있던 산소 원자들의 되튀김(recoiling)에 의해 누설전류를 야기시킨다. 또한 산화막을 통과한 B 이온들은 다시 채널링을 시작한다.

두번째로, B⁺ 이온 대신 BF₂⁺ 이온을 주입시키는 방법으로서 BF₂⁺가 갖는 전체 에너지 중에서 약 22%의 에너지만을 B⁺ 이온이 유효하게 가지므로 B 원자의 이온주입 에너지를 비교적 쉽게 낮은 범위로 할 수 있다는 것이다. 그런데 이 방법은 $0.25\mu\text{m}$ 이상의 접합 깊이에 대해서는 적합하나 그 이하의 접합 깊이에 대해서는 적합하지 못하다. 왜냐하면 수초의 짧은 열처리 시간동안 F 원자들이 Si 표면 밖으로 충분히 빠져나가지 못함으로 인해 발생하는 결함이 접합의 특성을 저하시키기 때문이다. 따라서 $0.25\mu\text{m}$ 이하의 접합깊이를 형성하기 위해서는 B⁺에 의한 이온주입이 불가피하게 된다.

현재 얇은 p-n 접합을 형성하기 위한 가장 유력한 방법으로 preamorphization 방법이 있다. 이 방법은 B⁺ 이온주입시 발생하는 채널링 현상을 억제시키기 위한 것이다. 채널링 현상이란 주입되는 이온이 실리콘 결정축 방향을 따라 에너지와 거의 무관하게 깊이 들어가는 현상으로 이 현상을 막기위해 일반적으로 웨이퍼의 각도를 주입되는 이온의 수직방향에 대해 7° 기울여 사용한다. 그러나 이 경우에도 분포의 꼬리(tail) 부분에서는 채널링이 발생하게 되며 특히 이온주입 에너지가 감소함에 따라 채널링 임계각이 증가하여 이 현상은 더욱 심하게 발생한다. 채널

링을 제거하기 위해 널리 시도되고 있는 기술의 하나가 preamorphization 방법인데 이것은 B⁺ 이온을 주입하기 전에 다른 원소의 이온으로 적정 실리콘층을 미리 비정질화 시키는 방법이다.^[8-10] 이렇게 하면 후속으로 이온주입되는 B⁺ 이온은 비정질 실리콘층 내에 포함되어 채널링이 발생하지 않게된다. 물론 preamorphization을 위해 미리 이온주입(pre-implant)되는 이온들은 p-n 접합영역에 대해 전기적 영향을 주지않아야 한다. 즉 RTA와 같은 열처리 후에 비정질층은 다시 완전한 결정성을 회복해야한다. 이를 위해 적절히 사용되고 있는 원소로서는 Ar과 같은 불활성 원소나 Si, Ge과 같이 4족의 원소들이 있다. 이 중에서도 질량이 비교적 큰 Ge 이온이 비정질화에 유리하고 어닐링 후에도 결정결함을 덜 야기시키는 것으로 알려져있다.

어닐링 동안 비정질 실리콘 층이 결정질층으로 바뀌는 원인은 SPE(Solid Phase Epitaxy)에 의한 것으로 밝혀져 있다. 즉 약 550°C 이상의 온도에서 열처리하는 동안 비정질 실리콘층이 아래의 결정 실리콘층을 seed로 하여 에피성장(epitaxial growth)을 형성하기 때문이다.

본 연구에서는 As⁺ 이온의 선 이온주입(pre-implant)에 의해 실리콘층을 preamorphization 함으로써 얻어지는 얇은(shallow) p-n 접합형성의 결과에 관해 검토하였다. B⁺ 이온의 주입량 보다 훨씬 적은양의 As⁺에 의해서도 preamorphization을 쉽게 형성할 수 있으며 어닐링 후에도 완전한 결정성을 얻는데 유리하다는 것을 보았다.^[11,12] Preamorphization을 위해 As⁺ 이온의 사용이 가능하다는 것은 공정의 용이성 및 다양성을 위해 매우 중요하다.

II. 실험 내용

실험에 사용된 시편들은 13Ω-cm의 비저항값을 갖는 4인치 크기로 P가 도우핑된 실리콘 웨이퍼였다. 얇은 p-n 접합을 형성하기 위해 B⁺의 이온주입 에너지를 10keV로 선택하였으며 B⁺ 이온주입시 발생하는 채널링 현상을 방지하기 위해 B 이온주입 전에 비교적 낮은 도우즈량의 As⁺ 이온으로 preamorphization을 수행하였다.

Si층을 비정질화 시키기 위해 필요한 As 이온의 적정 도우즈량(dose)을 구하기 위하여 'Kinchin 및 Pease'에 의한 이론적 모델을 이용하였다. 즉 Si 타겟(target) 속으로 입사되는 입자에 의해 Si의 1차 변위가 발생하며 이것을 1차 되튀김(primary recoiled) Si이라 한다. 1차 되튀김 Si은 다시 주변

Si 원자들의 변위(displacement)를 유발하게 된다. 이때 1차 되튀긴 Si에 의해 변위되는 Si의 원자수는,

$$N_d = E / 2E_d \tag{1}$$

로 주어지며 여기서 E는 1차 되튀긴 Si의 에너지이고 E_d 는 Si의 변위를 위해 요구되는 에너지로서 약 15eV 이다. 이온주입이 계속 진행되면 Si의 변위량은 증첩되고 따라서 부분적으로 비정질화가 발생하기 시작한다. 한개의 입사원자에 의해 발생하는 각 손상군(damage cluster)을 길이 R_p , 단면적 A_i 인 원형 실린더로 가정하면, 주입되는 도우즈량의 증가에 따라 비정질층이 성장하는 속도는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$dA_a/dN = A_i (1 - A_a/A_0) \tag{2}$$

따라서,

$$A_a(N) = A_0 [1 - \exp(-A_i Q)] \tag{3}$$

가 된다.

여기서, N은 전체 면적에 대해 주입되는 량이고 A_a 는 비정질화된 층의 면적, A_0 는 전체 표면적, 그리고 $Q(=N/A_0)$ 는 도우즈에 해당하는 양이다. Preamorphization을 발생하기 위해 요구되는 도우즈량, Q*를 $A_a=0.9A_0$ 가 되는 조건으로 가정하면 $A_i Q^* = 2.2$ 가 된다.

이들 관계식에 의해 100keV로 이온주입되는 As⁺ 이온 (nuclear stopping power $S_n=0.13\text{keV}/\text{\AA}$, projected range $R_{As}=680\text{\AA}$, 그러면 $E_{Si}=0.13\text{keV} \cdot 2.5\text{\AA}=325\text{eV}$)에 의해 preamorphization이 발생하기 위한 임계 도우즈량은 약 $2 \times 10^{14}\text{cm}^{-2}$ 로 계산된다. 물론 실제 도우즈량은 주입되는 동안의 기판 온도에 의해 발생하는 자체 어닐링(self-annealing) 효과로 인해 다른 값을 가질 수도 있다.

실험에서는 위의 계산결과에 따라 Si층의 preamorphization을 위해 충분할 것으로 판단되는 $4 \times 10^{14}\text{cm}^{-2}$ 의 As⁺ 이온을 주입하였으며 채널링을 방지하기에 적합한 두께의 비정질층을 얻기 위하여 이온주입 에너지를 40keV에서 100keV 까지 20keV 증가씩 변화시켰다. As-preamorphization 후 B⁻ 이온을 10keV의 에너지로 $1.5 \times 10^{15}\text{cm}^{-2}$ 만큼 주입하였다. 결정성을 회복하고 B 원자의 전기적 활성화를 얻기 위해 1050℃의 온도에서 10초간 RTA를 수행하였다. 비정질화된 Si층의 두께를 측정하기 위해 RBS를 이

용하였으며 B농도의 깊이분포를 측정하기 위해 SIMS를 사용하였다. 또한 TEM에 의해 RTA후의 시편에 대한 결정분석을 하였다.

As-preamorphization 시 As⁺의 이온주입 에너지가 너무 작으면 비정질화된 실리콘층의 두께가 B⁻ 이온주입 에너지에 대해 상대적으로 작기 때문에 채널링이 부분적으로 발생한다. 반면 As-preamorphization 에너지가 너무 높으면 채널링은 완전히 방지되지만 As 분포에 의해 p⁻n의 n쪽 농도가 높아져 역방향 전압 인가시 터널링(tunneling)에 의한 누설전류가 크게 발생할 가능성이 있다. 뿐만 아니라 '비정질화된 Si층/결정질 Si층'의 계면에 남기 쉬운 잔류결함들(residual defects)에 의한 누설전류 영향을 받게된다. 일반적으로 Si⁺ 나 Ge⁺ 이온으로 preamorphization 시키는 경우 RTA 후에도 위의 결함들이 남게되며 이 결함들이 공핍층 영역 내에 들면 누설전류를 발생시키는 것으로 보고되어 왔다. 이 문제를 피하기 위해 비정질화 되는 Si층의 두께를 가능한 작게한다. 적절한 As-preamorphization의 에너지를 얻기 위해서는 채널링 방지 측면 외에도 다이오드의 I-V 특성 측면도 고려해야하므로 B분포의 측정 외에도 p⁻n 다이오드들에 대한 역방향 바이어스의 특성도 측정하였다.

Preamorphization을 위해 As⁺ 이온을 사용하는 경우의 문제점으로 캐리어 보상(carrier compensation) 효과에 의한 p⁻층의 면저항 값의 증가이다. 이 효과를 줄이기 위해서는 As의 도우즈량을 가능한 낮추는 것이 요구된다. 이를 위해 As의 도우즈량을 $2 \times 10^{14}\text{cm}^{-2}$ 으로 줄여서 동일한 실험을 반복하였다.

이에 따른 결과들로서, 도우즈량이 $2 \times 10^{14}\text{cm}^{-2}$ 인 경우와 $4 \times 10^{14}\text{cm}^{-2}$ 인 경우에 대해 B의 농도분포 변화, p⁻층의 면저항 값, 역방향 바이어스에 따른 접합 커패시턴스 변화 및 접합 파괴전압 등에 대한 특성을 비교분석하였다.

III. 실험 결과

1. 얇은 접합 형성

그림 1은 As⁺ 이온주입 에너지의 증가에 따른 RBS의 측정결과를 보여주는 것으로 스펙트럼 최고치(peak) 부분의 폭이 비정질화된 실리콘층의 두께에 관련된다. 그림에서 볼 수 있듯이 As의 에너지가 40keV에서 100keV까지 증가함에 따라 발생하는 비정질층의 두께는 66nm에서 120nm까지 증가함을 볼 수 있다. 그림 2는 As⁺의 각 에너지에 따른 As 농도 분포를 SIMS로 측정된 결과인데 산소 gun에 의한

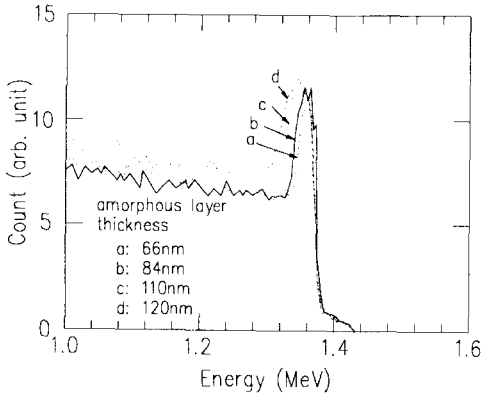


그림 1. As⁺ 이온주입에 의해 preamorphize된 시편들에 있어서 에너지 변화에 따른 RBS 스펙트럼: (a) 40keV, (b)60keV, (c)80keV 및 (d)100keV
 Fig. 1. Channeled RBS spectra obtained from the samples preamorphized by As⁺ implantation with the various energies: (a)40keV, (b)60keV, (c)80keV, and (d)100keV.

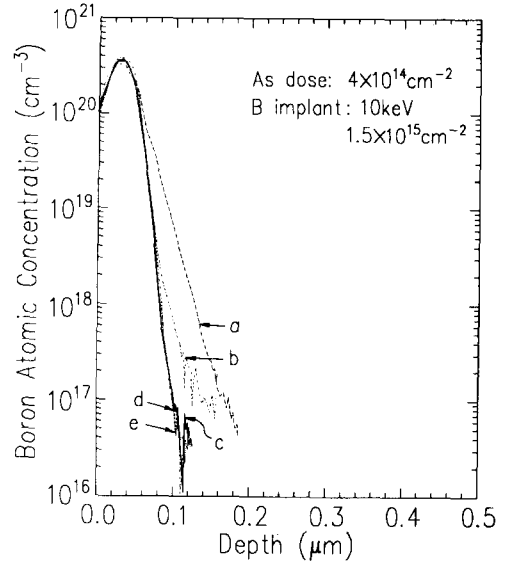


그림 3. As로 preamorphize된 시편속으로 B+를 이온주입시킨 시편에 있어서 As⁺ 이온주입 에너지에 따른 B 원자의 SIMS 깊이분포: (a) As-none, (b) 40keV, (c) 60keV, (d) 80keV and (e) 100keV
 Fig. 3. SIMS depth profiles of the as-implanted B atom in the samples preamorphized at various As⁺ implant energies: (a) As-none, (b) 40keV, (c) 60keV, (d) 80keV, and (e) 100keV.

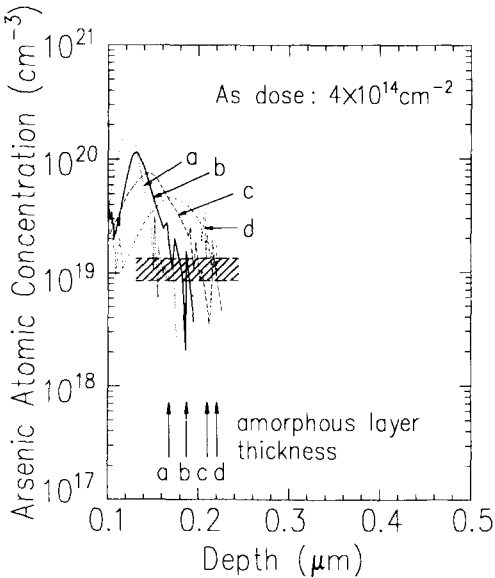


그림 2. Preamorphization을 위해 여러 에너지로 이온주입된 As 원소들의 에너지에 따른 SIMS 깊이분포: (a)40keV, (b) 60keV, (c)80keV 및 (d)100keV
 Fig. 2. SIMS depth profiles of As atom implanted at various implant energies for preamorphization: (a)40keV, (b) 60keV, (c)80keV, and (d)100keV.

SIMS 분석으로 인해 분포의 측정 범위(dynamic range)가 작게 나타났다. 그림에서 알고자 하는 것은 비정질화가 가능한 As의 임계농도 값으로서 RBS에서 얻어진 '비정질/결정질' 경계 위치의 표시들에 의해 비정질화가 가능한 As의 임계농도는 $8.5 \times 10^{18} \sim 1.3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 범위임을 알 수 있다.

다음으로 얇은 p⁺층을 형성하기 위해 As-preamorphize된 시편 속으로 B⁺ 이온을 10keV의 에너지에 의해 $1.5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 만큼 이온주입시켰다. 이 경우 각 As-preamorphization 조건에 따른 B 원자의 농도분포가 그림 3에 나타나 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 As-preamorphization이 적용되지 않은 시편에서의 B 분포는 B 최고치 위치로부터 꼬리 부분까지의 전 영역에 걸쳐 채널링이 심하게 발생하며, As-preamorphization이 적용된 시편에서는 채널링 현상이 현저히 감소함을 알 수 있다. 그리고 As⁺의 에너지가 증가함에 따라 채널링은 더욱 감소하며 As⁺의 에너지가 60keV 이상이 되면 이 현상은 더이

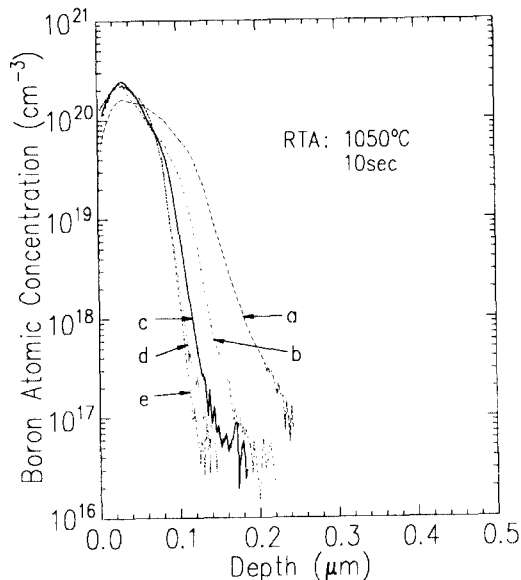


그림 4. As로 preamorphize된 시편속으로 B를 이온주입시키고 나서 어닐링한 시편들에 대해 As⁺ 이온주입 에너지에 따른 B 원자의 SIMS 분포분석: (a) As-none (b) 40keV (c) 60keV (d) 80keV and (e) 100keV

Fig. 4. SIMS depth profiles of the annealed B atom in the samples preamorphized at various As⁺ implant energies: (a) As-none, (b) 40keV, (c) 60keV, (d) 80keV, and (e) 100keV.

상 발생하지 않음을 볼 수 있다. 따라서 10keV로 주입되는 B⁻ 이온들의 채널링을 완전히 방지하기 위한 As⁺의 임계 에너지는 60keV 근처임을 알 수 있다. 그림 4는 앞에서 얻어진 시편들에 대해 RTA를 수행한 후의 SIMS 결과를 보여주는 것으로 As-preamorphization 에너지가 증가함에 따라 B 분포는 점차 감소함을 볼 수 있다. 특히 그림 'c' 'd' 'e'의 경우 RTA 전에는 같은 분포를 나타내었으나 RTA 후에는 달라짐을 볼 수 있는데 이것은 As의 분포가 확산에 영향을 주었기 때문으로 생각되며, 주요한 메커니즘들로서는 interstitials에 의한 확산 증대 (enhanced diffusion) 효과 및 As 분포의 기울기에 의한 내부 전장(internal electric field) 효과 등이다. 즉 As의 에너지가 증가함에 따라 B의 꼬리 부분에는 interstitials 보다는 vacancy 들이 많으며 따라서 확산 증대 효과를 적게 받는다. 또한 As 분포의

부 기울기(negative slope)에 의해 발생하는 전장의 방향(out-ward)은 확산하는 동안 B⁻ 원자들에 대해 Si 표면쪽으로 힘을 가하게 되고 이와같은 효과는 As⁺의 에너지가 높을수록 B의 꼬리 부분에서 강하게 나타나므로 B의 확산을 억제시키는 것으로 설명할 수 있다.

2. 물질 특성

그림 5는 열처리된 시편들에서의 잔류 결함을 관찰하고자 TEM으로 측정된 단면사진 들이다. 그림 5 (a)는 As-preamorphization이 적용되지 않은 시편의 경우로서 실리콘 표면으로부터 약 600Å의 위치에 전위(dislocation)들이 남아있음을 볼 수 있다.

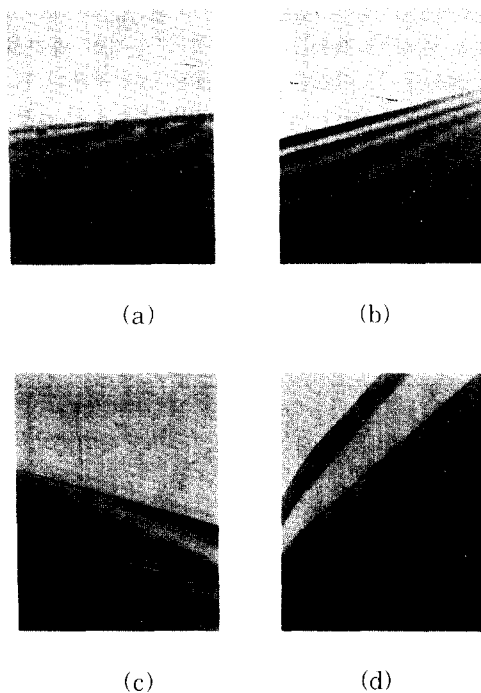


그림 5. 여러가지 As⁺ 이온주입 에너지로 preamorphization한 시편들을 어닐링한 후 TEM으로 관측된 단면 사진: (a)As-none (b) 40keV (c)60keV 및 (d)80keV. 어닐링은 1050°C에서 10초간 하였다 (×50,000)

Fig. 5. Cross sectional TEM views after annealing of the samples preamorphized at various As⁺ energies. (a) As-none, (b) 40keV, (c) 60keV, and (d) 80keV. Annealing was done at 1050°C for 10sec. (×50,000)

이 위치는 B의 최고치에 해당하는 위치로서 이온주입 직후 발생한 결합균들이 RTA 동안 분해되면서 전위들을 형성하는 것으로 설명된다. 반면 그림 5(b) - (d)에서와 같이 As-preamorphization이 적용된 경우는 RTA 동안 완전한 결정성을 회복하는 것을 볼 수 있다. 특히 As은 Si에 대해 misfit factor가 0이므로 다른 원소들(Si, Ge, Sn 등)로 preamorphization하는 경우에 비해 재결정화에 크게 유리한 것으로 보여진다.

역방향 전압이 가해진 p-n 다이오우드의 I-V 특성 곡선이 그림 6에 나타나 있다. 그림에서 As-preamorphization 에너지가 60keV 이하인 경우는 As-preamorphization하지 않은 시편에서의 누설전류와 거의 같은 값을 유지하였는데 -5V 전압에서 약 20nA/cm²를 발생하였다. 이에 비해 As의 에너지가 80keV 이상인 경우는 누설전류가 급격히 증가하는 것을 보여준다. 이것은 As 분포의 꼬리부분이 B 분포의 꼬리부분 보다 훨씬 깊어지면 접합부의 n쪽 농도가 10¹⁸ cm⁻³ 이상으로 높아져 역방향 바이어스시 터널링에 의한 누설전류를 야기시키기 때문이다. 누설전류를 발생시킬 수 있는 또다른 요인으로 잔려결합의 영향을 들 수 있는데 이 잔려결합들은 일반적으로 '비정질 Si/결정 Si' 계면에 전위 형태로 발생한다. 특히 Si과 같이 선 이온주입되는 원소의 질량이

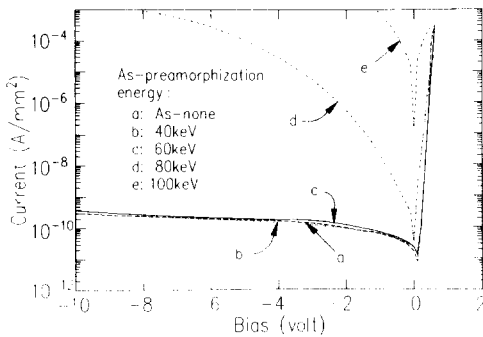


그림 6. 여러 As-preamorphization 에너지 조건으로 만들어진 p-n 다이오우드들에 대하여 바이어스 변화에 따른 전류-전압 특성 곡선. As-preamorphization 도우즈는 $4 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ 이었다

Fig. 6. I-V characteristics of the p-n diodes fabricated with various As-preamorphization energy conditions. As-preamorphization dose was $4 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$.

작거나, 이온주입이 진행되는 동안 발생하는 기관의 열에 의해 자체 어닐링이 발생하면 비정질층과 결정 Si층의 계면이 분명하지 않게되어 결합발생을 많이 유발시킨다. 이때 preamorphization 에너지가 높아 이 결합들이 p-n 접합의 공핍 영역 가까이에 들게 되면 누설전류를 야기시킨다. 그러나 그림 5에서 보았듯이 As-preamorphization을 수행한 경우는 RTA 후에 잔려결합이 전혀 발생하지 않는 것을 볼 수 있었다. 이것으로 부터 As의 에너지가 80keV 이상인 경우에 누설전류가 급격히 증가하는 주된 요인은 As 분포에 의한 터널링 효과인 것으로 여겨진다. 따라서 As의 이온주입 에너지를 적절히 선택함으로써 채널링 현상이 발생하지 않고 전기적으로 안정된 얇은 층의 p-n 접합형성이 가능하다는 것을 알 수 있다.

3. As-preamorphization 조건의 최적화

As-preamorphization시 As에 의해 발생하는 p+ 층의 캐리어 보상효과를 줄이기 위해 As의 도우즈를 $4 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ 대신 $2 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ 으로 적용한 경우의 B 농도분포가 그림 7에 나타나 있다. 두 경우에 대해 B

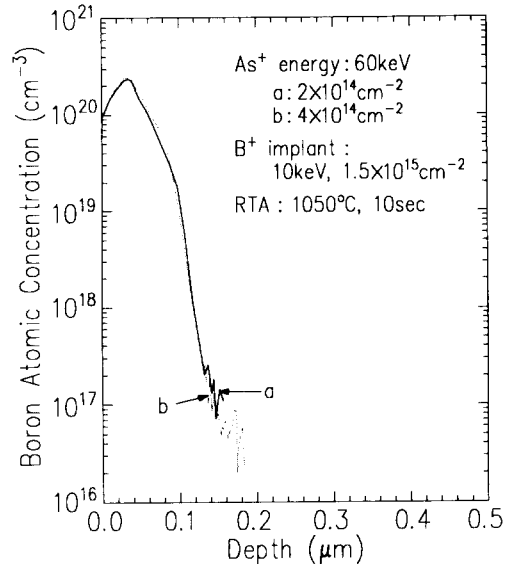


그림 7. 두 가지 다른 도우즈로 preamorphize된 시편들의 어닐링 후 B 원자의 SIMS 깊이 분포: (a) $2 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ 및 (b) $4 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$

Fig. 7. SIMS depth profiles of B atom after annealing of the samples preamorphized at two different doses: (a) $2 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ and (b) $4 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$.

의 분포들이 동일하였으며 이 결과로 부터 As의 도우즈량이 $2 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ 인 경우에도 B의 채널링을 충분히 억제시킨다는 것을 알 수 있다. 면저항 값을 비교해 보면 As의 도우즈량이 $4 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ 인 경우가 $146 \Omega/\square$ 인데 비해 As/ $2 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ 인 경우는 $107 \Omega/\square$ 로서 훨씬 낮았다. 이것을 R_s 와 X_j 의 곱($R_s \times X_j$)으로

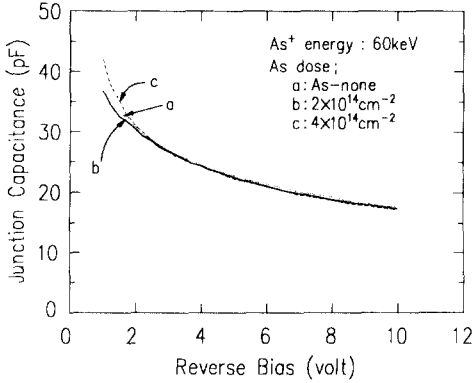


그림 8. 두 가지 다른 As-premorphization 도우즈 조건으로 만들어진 p-n 접합에 대해 역방향 바이어스에 따른 커패시턴스 변화
Fig. 8. Capacitance variations with reverse bias for the p-n junction formed with two different As-premorphization dose conditions.

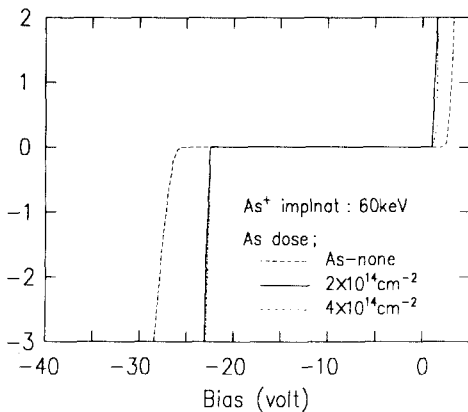


그림 9. As-premorphization의 다른 도우즈 조건으로 만들어진 p-n 다이오드들의 접합파괴 특성
Fig. 9. Breakdown characteristics of the p-n diodes formed with different As-premorphization dose conditions.

환산하면 각각 $204 \mu \Omega\text{-cm}$ 와 $150 \mu \Omega\text{-cm}$ 에 해당한다. 이들 값을 As-premorphization 없이 B만 이온주입된 경우의 $214 \mu \Omega\text{-cm}$ 와 비교해 보면 As/ $2 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ 으로 preamorphization한 경우의 ' $R_s \times X_j$ ' 곱이 매우 낮음을 알 수 있다. 다시 말하면, As/ $2 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ 을 적용한 경우의 p'층 평균 전도도 (conductivity) 값이 훨씬 높다는 것을 말해준다. As의 도우즈 값을 줄이는 효과는 접합용량 측면에서도 유리한 것으로 나타났다. 그림 8은 p-n 접합의 역방향 전압에 따른 접합용량 값의 변화를 보여주는 것으로 As/ $4 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ 으로 preamorphization 시킨 시편에서는 As-premorphization 하지않은 시편에 비해 약 1.8V 이내의 바이어스 전압에서 다소 높은 용량 값을 나타내는데 비해 As/ $2 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ 인 경우는 거의 같은 값을 유지하였다. 접합 파괴전압의 측면에서는 그림 9에서와 같이 preamorphization이 적용되지 않은 시편에서는 약 28V이었고 60keV로 preamorphization된 경우는 도우즈에 관계없이 약 23V로서 약간 낮아졌다. 이것은 preamorphization 시킨 경우 채널링 억제로 인해 p'층의 분포 기울기가 보다 급경사를 이루기 때문인 것으로 보여진다.

이상의 결과들로부터 As의 에너지 및 도우즈량을 적절히 선택함으로써 낮은 에너지의 B⁻ 이온주입시 발생하는 채널링 현상을 완전히 억제시키며 전기적으로 특성이 우수한 얇은 층의 p-n 접합형성이 가능하다는 것을 알 수 있었다.

IV. 결론

As-premorphization 방법으로 B 이온주입시 발생하는 채널링 현상을 효과적으로 방지할 수 있었다. 특히 As의 이온주입 에너지를 적절히 선택함으로써 누설전류에 영향을 주지않는 preamorphization의 적용이 가능하였다. 또한 As의 도우즈량을 낮게 함으로써 면저항 및 접합 커패시턴스 값이 적은 p-n 접합을 형성할 수 있었다.

10keV로 주입되는 B⁻ 이온에 대해 최적 As-premorphization 조건은 에너지가 60keV이고 도우즈량이 $2 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ 였다. 1050℃에서 10초간 RTA 수행 후의 접합깊이는 약 $0.14 \mu\text{m}$ 였으며 면저항 값이 $104 \Omega/\square$ 이고 -5V의 역방향 전압에서 누설전류 값이 약 $20 \text{nA}/\text{cm}^2$ 인 p-n 접합을 형성할 수 있었다. 특히 As에 의한 preamorphization은 RTA 후에 잔려결함이 전혀 없는 완전 결정성을 회복하는 것으로 나타났다.

參考文獻

- [1] B.Eitan and D.Frohman-Bentchkowsky, "Surface Conduction in Short-Channel MOS Devices as a Limitation to VLSI Scaling," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. ED-29, no.2, p.254, 1982.
- [2] J.Zhu, R.A.martin, and J.Y.Chen, "Punchthrough Current for Submicrometer MOSFET's in CMOS VLSI," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol.35, no.2, p.145, 1988.
- [3] H.Shibata, Y.Suizu, S.Samata, T.Matsuno, and K.Hashimoto, "High Performance Half-Micron PMOSFETs with 0.1 μ m Shallow p-n Junction Utilizing Selective Silicon Growth and Rapid Thermal Annealing," *IEDM-87*, p.590, 1987.
- [4] K.H.Weiner and T.W.Sigmon, "Thin-Base Bipolar Transistor Fabrication Using Gas Immersion Laser Doping," *IEEE Electron Device Lett.*, vol.10, no. 6, p.260, 1989.
- [5] T.Yamazaki, S.Watanabe, T.Sugii, and T.Ito, "Ultra-Shallow p-n Junction Formed by Photo-Enhanced Low-Temperature Epitaxy," *IEDM-87*, p. 586, 1987.
- [6] E.Ling, P.D.Magurie, H.S.Gamble, and B.M.Armstrong, "Very-Shallow Low-Resistivity p-n Junction for CMOS Technology," *IEEE Electron Device Lett.*, vol. EDL-8, no.3, p.96, 1987.
- [7] C.M.Osburn, "Formation of Silicided, Ultra-Shallow Junction Using Low Thermal Budget Processing," *J. Electronic Materials*, vol.19, no.1 p.67, 1990.
- [8] M.Delfino, D.K.Sadana, and A.E.Morgan, "Shallow Junction Formation by Preamorphization with Tin Implantation," *Appl. Phys., Lett.*, vol. 49, no.10, p.575, 1986.
- [9] B.Y.Tsaur and C.H.Anderson, "Dual Ion Implantation Technique for Formation of Shallow p-n Junction in Silicon," *J. Appl. Phys.*, vol.54, no.11, p.6336, 1983.
- [10] M.C.Ozturk, J.J.Wortman, and C. Lee, "Optimization of the Germanium Preamorphization Condition for Shallow-Junction Formation," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol.35, no.5, p.659, 1988.
- [11] S. J. Kwon and J. D. Lee, "Shallow p-n Junction Formation by the Optimization of As-Preamorphization Conditions," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 138, no.3, pp.867-870, March 1991.
- [12] S. J. Kwon, H. J. Kim, and J. D. Lee, "As-Preamorphization Method for Shallow p-n Junction Formation," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol.29, no.12, pp.L2326-2328, Dec. 1990.

著者紹介



權相直(正會員)

1959年 12月 2日生. 1982年 2月 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1985年 8月 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1991年 8月 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1983年 3月 ~ 1988年 2月 한국전자통신 연구소 연구원. 1988年 3月 ~ 1992年 2月 서울대학교 반도체 공동 연구소 연구원. 1992年 2月 ~ 현재 경원대학교 전자공학과 전임강사. 주관심분야는 초미세 MOS소자, Shallow Junction 형성 및 Vacuum Microelectronics 등임.