

Laser Interferometry를 이용한 Solid Phase Epitaxial  
Regrowth에 관한 연구

박 세 근 , R. M. Walser \*

A Study of Solid Phase Epitaxial Regrowth of Silicon  
using Laser Interferometry

Gold Star Semiconductor, INC.

\* Department of C & E Engineering  
The University of Texas at Austin

ABSTRACT

A laser interferometry of very high spatial resolution was built to study the solid phase epitaxial regrowth of furnace-annealed silicon wafers. As boron concentration increases upto  $1.0E20/cm^3$ , regrowth rate increases, but pre-exponential term and activation energy are decreased.

1. 서 론

Submicron dimension의 VLSI급 소자에서는 아주 얇은 Junction 형성이 요구된다. 특히  $P^+$  Junction의 경우에는  $B^+$  Ion의 Channeling 효과 때문에 Shallow Junction 형성이 어려웠다 [1]. 단결정 Silicon Wafer를 7-8° 기울여서 Ion Implantation 하는 방법도 Boron Ion의 Channeling에 의한 Dopant Tail을 해결 할 수 없었으며 [2],  $BF_2^+$  Ion을 이용하여 단결정 Silicon의 표면을 amorphize 하는 방법은 Flourine의 Trapping 이라는 문제를 새로이 제기 하였다 [3]. 이에 Pre-amorphized Silicon Substrate에  $B^+$  이나  $BF_2^+$  Ion을 Shallow Implantation 한 후 Solid Phase Epitaxy를 이용하는 방법이 많이 연구하게 되었다 [4]. 그러나 Solid Phase Epitaxial Re-growth는 여러 조건에 따라 매우 복잡한 양상을 보여왔다. 즉 Substrate Orientation Effect [5], Impurity Effect [6], [7], Compensation

Effect [8], 그리고 Pressure Effect [9] 등이 SPE의 Mechanism을 이해하기 어렵게 하고 있다.

본 연구에서는 Spatial Resolution이 매우 좋은 CW Laser Interferometry 방법을 이용하여 Boron concentration이 Re-growth Kinetics에 미치는 영향을 분석하였다.

2. Laser Interferometer 및 실험장치

Laser Interferometry는 Amorphous와 Crystalline Silicon 간의 Dielectric Constant의 차이를 이용한 것으로서 [10], Sample의 표면에서의 반사되는 빛과 A-C Interface에서 반사되는 빛의 간섭현상을 이용한 것이다. 어떤 형태의 Heat Energy로 A-C Interface가 표면으로 이동하게 되면 Reflectivity가 변화하게 된다. (그림 1)에 CW He-Ne Laser를 이용한 Interferometer 및 진공 속에서의 RF Annealing System을 도시하였으며, (그림 2)에는 이론적으로 계산된 A-C interface Depth에 따른 Reflectivity 변화를 도시하였다. 계산에 이용한 Refractive Index는 (표 1)에 열거하였다. 이 방법의 Spatial Resolution은 System의 Signal-to-Noise Ratio에 제한되며 따라서 표면 근처에서는 10Å 정도의 Resolution을 가질 수 있다. 또한 실험치의 error는 온도에 따른 Amorphous와 Crystalline Silicon의 Refractive Index의 불확실성에 기인하지만 Re-growth Rate의 Error는 최대한 0.5% 이내의 범위에 드는 것으로 나타났다.

일반적으로 SPE 연구에 많이 쓰이는 RBS 방법은

Depth Resolution이 약 200Å 이며 본 Laser Interferometry의 또하나의 장점은 In-Situ 측정이 가능하여 어떤 형태의 Annealing 효과에 대해서도 Re-growth Rate가 측정 될 수 있다는 것이다 [11].

### 3. 실험 결과 및 고찰

N-type Silicon (100) Wafer의 표면에 약 3500Å의 균일한 Amorphous Layer를 Si<sup>+</sup> 이온을 Multiple Implantation 하여 형성 한 후 60.KeV B<sup>+</sup> 이온을 Implantation 하였다. (그림 3)은 B<sup>+</sup> 이온수를 1.3E15/cm<sup>2</sup>으로 한 Sample을 475°C에서 Annealing 하였을 때의 Reflectivity 변화를 보여 준다. (그림 2)의 Reference Reflectivity와 비교하여 A-C Interface 이동을 Re-growth Rate로 계산한 결과를 (그림 4)에 나타내었다. Boron 농도가 크면 Regrowth Rate도 커진다는 보고와 [6] 일치하는 결과이며 특히 Regrowth Rate와 LSS 이론에 의한 Boron Profile의 형태가 일치 하는 것은 Laser Interferometry의 정밀성을 보여주는 것이다. (그림 5)는 Boron 농도와 Annealing 온도에 따른 Regrowth Rate를 도시하였으며 또한 측정 방법의 뛰어난 재현성도 보여주고 있다. Boron 농도가 클수록 또 Annealing 온도가 높을수록 Regrowth Rate는 커짐을 알 수 있다.

Thermally Activated 되는 Solid Phase Epitaxial Regrowth 과정을 보다 깊이 분석 하기 위하여 Regrowth Rate를 Annealing 온도의 역함수로서 (그림 6)과 같이 여러가지 Boron 농도에 따라 도시 하였으며,

$$\text{Growth Rate} = A \exp [-E_A/kT]$$

의 관계식으로 부터 Pre-exponential 항인 A를 (그림 7)에, 그리고 Activation Energy 인 E<sub>A</sub>를 (그림 8)에 각각 보여주고 있다. Activation Energy는 Intrinsic Regrowth 경우 2.65 eV에서 점점 감소하여 Boron 농도가 1.2E20/cm<sup>3</sup> 일때 최소값인 2.27 eV로 되었다가 다시 증가 하였으며 Pre-exponential 항 역시 비슷한 경향을 보여주고 있다.

Recrystallization이 Amorphous Phase에서 Crystalline Phase로 Si 원자가 Jump 한다고 볼때, 그 때에 극복해야 하는 Free Energy

Barrier가 Boron 농도 증가에 따라 낮아지며, 동시에 Recrystallization Site 수도 감소 하고 있다는 것이 된다. A-C Interface에서의 Vacancy 농도 증가가 Enhanced regrowth Rate 원인 이라는 주장은 따라서 본 실험의 결과와는 상치된다[12]. Pre-exponential 항의 감소에도 불구하고 작은 Boron 농도 근처에서 Re-growth Rate가 증가하는 것은 Boron에 의한 Crystalline Phase의 Fermilevel shift의 결과로써 Activation Energy가 감소한 것이라고 생각된다. Boron의 농도가 1.2E20/cm<sup>3</sup> 이상의 경우에는 Pre-exponential 항의 증가가 Dominant 하여 Re-growth Rate는 점진적으로 증가한다고 믿어진다.

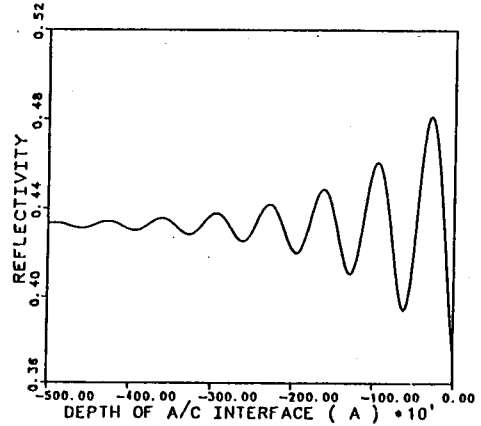
### 4. 결 론

- (1) Vacuum RF Annealing을 이용한 In-Situ Solid Phase Epitaxy 연구를 Laser Interferometry로써 관찰함으로써 Re-crystallization 과정을 정교하게 묘사할 수 있었다.
- (2) Boron의 농도에 따른 Regrowth Rate를 Pre-exponential 항과 Activation 에너지 항으로 구분함으로써 Impurity가 Recrystallization Site와 Fermi level Shift에 미치는 영향을 짐작할 수 있게 하였다.

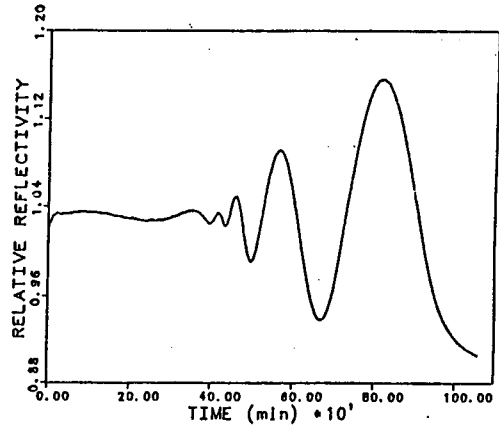
### 5. 참고 문헌

- (1) T.M. Liu and W.G. Oldham, Electron Device Lett., EDL-4(3), 59 (1983).
- (2) M.Simard-Normandin and C. Slaby, J. Electrochem. Soc., 132(9), 2218 (1985).
- (3) I.W. Wu and L.J. Chen, J. Appl. Phys. 58(8), 3032 (1985).
- (4) R.A. Powell. J. Appl. Phys. 56(10), 2837 (1984).
- (5) L. Csepregi. E.F. Kennedy, et al. J. Appl. Phys. 49, 3906 (1987).
- (6) L. Csepregi, et al. J. Appl. Phys. 48, 4234 (1977).
- (7) E.F. Kennedy, L. Csepregi and J. W. Mayer, J. Appl. Phys. 48, 4241

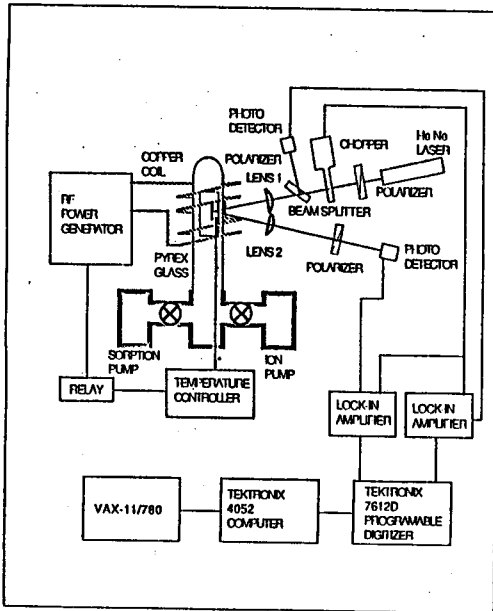
- (1977).
- (8) I. Suni, et al. Appl. Phys. Lett. 40, 269 (1985).
  - (9) E. Nygen et al. Appl. Phys. Lett 40, 172 (1985).
  - (10) J.E. Fredricson et al. J. Appl Phys. Lett. 40, 172 (1982).
  - (11) S.A Kokorowski et al. J. Appl Phys. 53(2), 921 (1982).
  - (12) J.C. Bourgoin et al. Phys. Lett. 101A(3), 151 (1984).
  - (13) Y.B. Algazin, Y.A.Blyumkina, N.I. Grebnev, K.K. Suitashev, L.V. Semenko and T.M. Yablontseva, Opt. Spectrosc.(USSR) 45(2), 183 (1978).



(그림 2) 이론적으로 계산된 Amorphous layer 두께에 따른 Reflectivity.



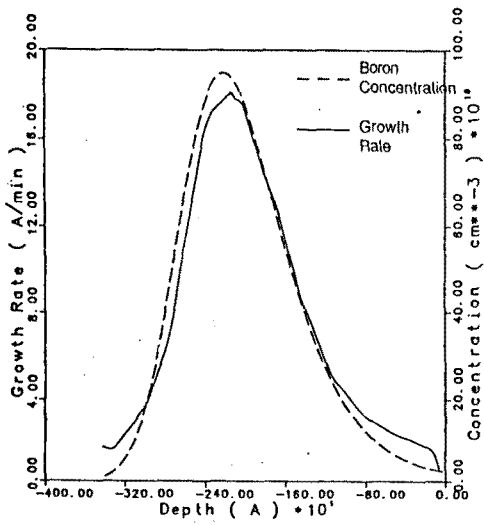
(그림 3) Pre-amorphized Sample에 Boron Implantation 한 후 Annealing 시간에 따른 Reflectivity 변화



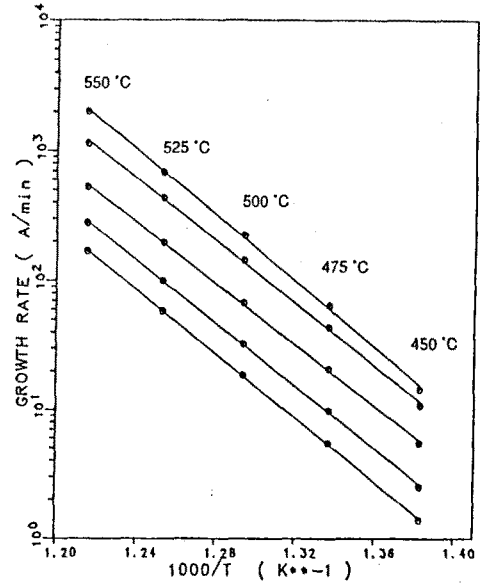
(그림 1) Schematics of CW Interferometer and RF Annealing system.

온도 (°C)	Crystalline Silicon		Amorphous Silicon		Silicon dioxide	
	n1	n2	n1	n2	n1	n2
450	4.090	-0.082	4.89	-0.54	1.462	0
475	4.103	-0.085	4.93	-0.57	1.462	0
500	4.116	-0.091	4.94	-0.59	1.463	0
525	4.129	-0.096	4.96	-0.61	1.463	0
550	4.142	-0.101	4.96	-0.63	1.463	0

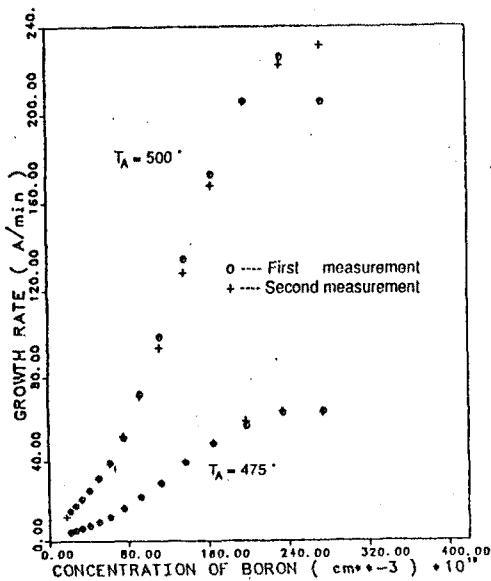
(표 1) Refractive Index의 실수치(n1)와 허수치(n2) [13].



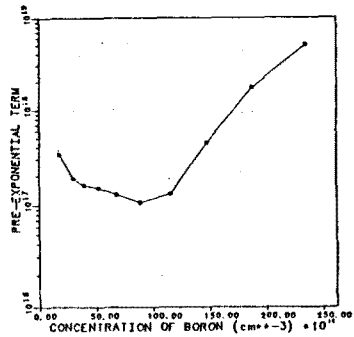
(그림 4) (그림 3)으로 부터 추출된 Re-growth Rate와 LSS 이론에 의거한 Boron 농도 Profile.



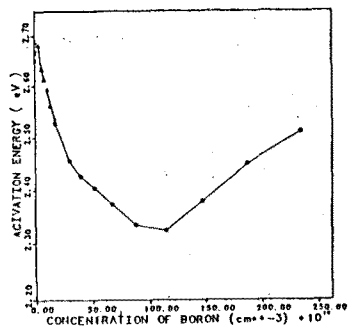
(그림 6) Regrowth Rate의 Arrhenius Plot.



(그림 5) Boron 농도와 Annealing 온도에 따른 Regrowth Rate.



(그림 7) Boron 농도변화에 의한 Pre-exponential 항의 변화.



(그림 8) Boron 농도변화에 의한 Activation Energy의 변화.