



Title	イオン打ち込みされたシリコンのレーザー・アニーリング
Author(s)	福岡, 登
Citation	大阪大学低温センターだより. 1980, 31, p. 8-10
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/12752">https://hdl.handle.net/11094/12752</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

# イオン打込みされたシリコンの レーザー・アニーリング

教養部 福岡 登 (豊中 5234)

イオン打込みによる半導体中への不純物のドーピングは熱拡散法による従来の不純物ドーピングとともに重要な半導体素子製作の技術となって来た。しかし、イオン打込みにより生じる格子欠陥の除去が重要な問題となった。これらの格子欠陥を除去し、ドーパントを電気的にアクティブにする方法として、電気炉中の焼鈍が行なわれて来たが、この方法では、ドーパントの析出、不純物による汚染、基板の電気的特性の劣化等の問題があるため、他の焼鈍法が、いろいろ研究されて来た。その1つとして高出力、短パルス幅のレーザーを用いて、焼鈍を行なう試みが、1974年頃より Shtyrkov<sup>1)</sup> によって始められ、1976年のイオン打込み国際会議において、ソ連の Kachurin<sup>2)</sup> がこの方法について報告して以来、世界的な注目を集め、米国・イタリア・日本を始めとする各国で、いろいろの研究が行なわれて来た。レーザー・アニーリングの応用面での利点としては、焼鈍が短時間で行なえること、基板に影響を与えない焼鈍が出来ること、イオン注入面の任意の場所を選択して焼鈍できる。またレーザー・アニーリングは応用面以外にも、格子欠陥の動的焼鈍過程や非晶質の結晶化の過程を調べる方法として、大変興味ある方法である。レーザー・アニーリングの特徴及び、その焼鈍機構について、昨年私の滞在していたオーク・リッヂ国立研究所のグループによって得られた結果を中心に、現在の状況について述べる。

単結晶シリコンにボロン、燐、砒素を  $35\text{keV} \sim 100\text{keV}$  で  $1 \sim 1.4 \times 10^{16}/\text{cm}^2$  打込み、その後 Q-Switch・ルピー・レーザーを用い、エネルギー密度  $1.6\text{J}/\text{cm}^2$ 、パルス幅  $50\text{ns}$  で焼鈍を行ない、SIMS (Secondary Ion Mass Spectroscopy),  $\text{He}^+$  Ion Backscattering 法で、ドーパントのプロファイルを測定した結果が図1に示されている<sup>3)</sup>。レーザー・アニーリングにより表面より  $1,000 \sim 2,000\text{\AA}$  の厚さでは、ドーパントが一様に再分布されたことがわかる。砒素又はアンチモン打込みの試料では打込まれた砒素又はアンチモンの～98%がレーザー・アニーリングによって格子位置にはいり、電気的に働いていることが Hall 係数、 $\text{He}^+$  Ion Channeling の測定よりわかった。また溶融点での溶解度以上の砒素又はアンチモンが格子位置にはいることも示された。その他、電子顕微鏡による観測では半径が  $10\text{\AA}$  以上の格子欠陥は認められず、格子欠陥はほぼ完全に焼鈍されること、シリコンの場合、レーザーのエネルギー密度は  $1.2 \sim 1.6\text{J}/\text{cm}^2$  が最適であること、レーザー・アニーリング中のシリコン表面の反射率測定よりシリコン表面の溶解の起ることが考えられること等が報告されている。

炉を用いた通常の焼鈍に較べ、打込まれた不純物の活性化率が大変大きく、また格子欠陥の焼鈍も著しいという結果を得たが、このような焼鈍は、どういう機構で起るのであろうか。この機構として、シリコン表面の熱溶融説が出された。すなわち、レーザー照射によりシリコン表面が溶融をはじめ、固液

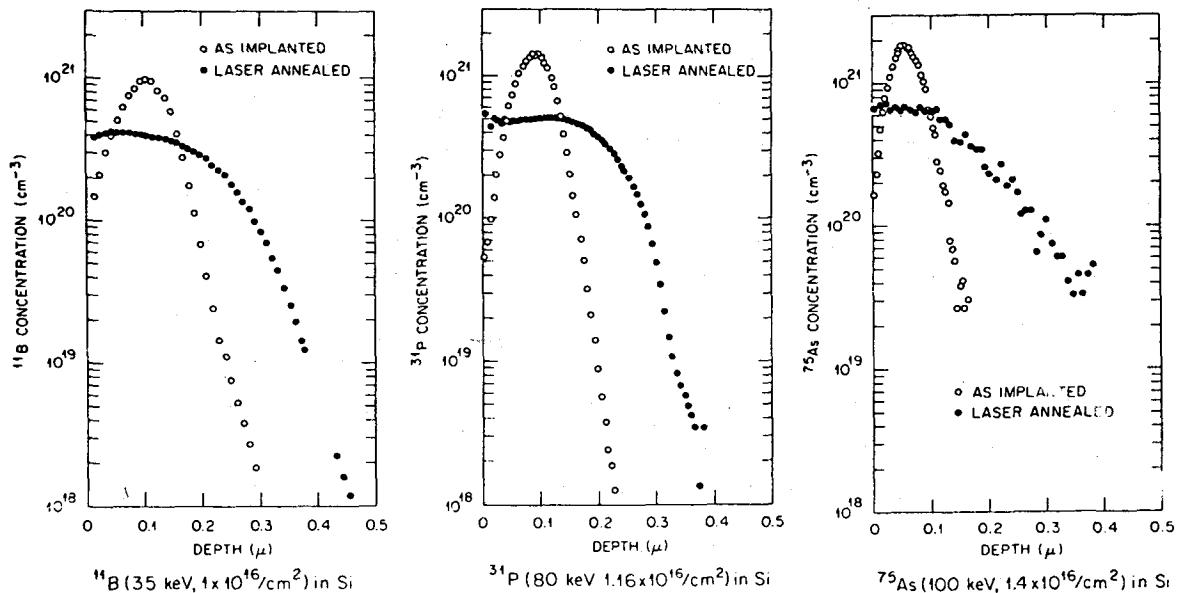


図 1.

境界は時間とともに基板内部へ進行し、エネルギー密度が閾値を越えるときは、固液境界がイオン打込みにより乱されていない基板の単結晶にまで達する。そして溶融層が冷却するとき、単結晶側からエピタキシャル成長機構で再結晶化が起る。再結晶は百ナノ秒ほどで起るので、析出、積層欠陥や転位等の欠陥の発生及び成長は、このような短時間に追随できず、再結晶により無欠陥になると推測した。またレーザー・アニーリングののち、炉の中で 900 °C, 30 分の焼鈍を行なうと表面近くに析出がみられるが、これは、この考えが正しいことを示していると解釈している。このモデルに立って、理論的なドーパントのプロファイルを求めた結果が、実験結果とともに図 2 に示されている。<sup>4)</sup> 理論値と実験値はよい一致をみせているが、熱拡散係数等の取り方に問題がないわけではない。

上記のような熱溶融モデルに対して、レーザー・アニーリングは単なる熱溶融によって起こるのではなく、プラズマ・アニーリングによるとする説が Van Vechten 等<sup>5)</sup>によってシリコン中に作ら

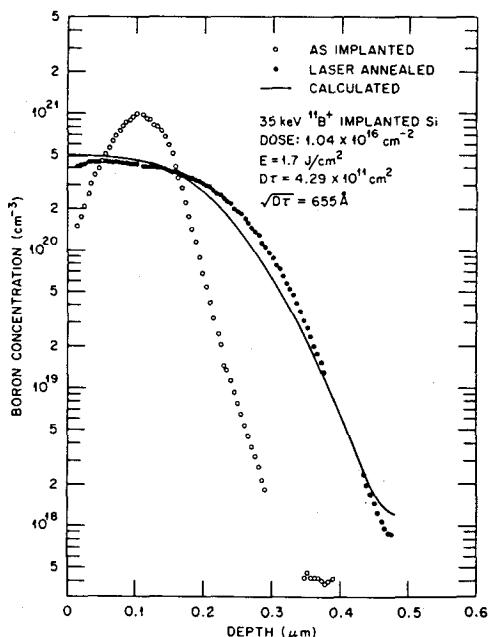


図 2.

れる高濃度エレクトロンホール・プラズマのために焼鈍が起こると説明する。例えば、イオン打込みによって作られた空格子点の焼鈍は次のように説明される。シリコン中の空格子点は80K附近で焼鈍することが知られているが、全ての空格子が80K附近で消滅するわけではない。空格子点は+、0、-、-の荷電状態をもち、結晶中の他の荷電状態の欠陥とクーロン力によって複合欠陥を作る。こうなると空格子点は安定になり、室温以上になっても、焼鈍せずに生きのびることになる。ところが高濃度のエレクトロンホール・プラズマが生じると、空格子点と他の欠陥との結合力が弱くなり、空格子点は小さなエネルギーで複合欠陥より自由になり、移動して、格子間原子と再結合したり、表面に達して消滅したりする。このようなプラズマ・アニーリング機構でイオン打込みによって生じた欠陥は、ほぼ完全に焼鈍され、打込まれた不純物も格子位置に入ると説明する。また最近レーザー・アニーリング中の格子温度を測定した結果、試料表面は800°C程度にしかならなかつたという報告がなされた。プラズマ・アニーリングの起っている証拠であると主張されている。

この2つの焼鈍機構のうち、これまでのところは熱溶融説を主張するグループが優勢の様であるが、プラズマ・アニーリング説にとって有利な実験結果もあり、どちらが正しいかを決めるには、新しい実験結果の蓄積が必要である。

レーザーの他にも、電子線、フラッシュ・ランプを利用して焼鈍の研究も進められており、これらの結果及び従来から行なわれて来た炉を用いての焼鈍結果を統合することにより、格子欠陥の焼鈍機構及び物理的性質の解明に大きな寄与をすることが期待される。

## 参考文献

- 1) E.I.Shtyrkov, I.B.Khaibullin, M.M.Zaripov, M.F.Galyatudinov and R.M.Boyazitov:  
Sov. Phys. Semicond. 9 (1976), 1309.
- 2) G.A.Kachurin, V.A.Bogatyriov, S.I.Romanov and L.S.Smirnov:  
*Proc. Ion Implantation of Semiconductors*, Corolado, 1976  
(Plenum Press, New York and London, 1977) P.445.
- 3) C.W.White, W.H.Christie, B.R.Appleton, S.R.Wilson,  
P.P.Pronko and C.W.Magee:  
Appl. Phys. Lett. 33 (1978), 662.
- 4) J.C.Wang, R.F.Wood and P.P.Pronko:  
Appl. Phys. Lett. 33 (1978), 455.
- 5) J.A.Van Vechten, R.Tsu and F.W.Saris:  
Phys. Lett. 74A (1979), 422.