



Title	Annealing of Lattice Defects in Single Crystals of p-Type Germanium
Author(s)	Fukuoka, Noboru
Citation	大阪大学, 1969, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/2482">https://hdl.handle.net/11094/2482</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

氏名・(本籍)	ふくおかのぼる
学位の種類	理学博士
学位記番号	第 1821 号
学位授与の日付	昭和 44 年 9 月 30 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 2 項該当
学位論文題目	P 型ゲルマニウム単結晶中の格子欠陥の焼鈍
論文審査委員	(主査) 教授 斎藤 晴男 (副査) 教授 石黒 政一 教授 国富 信彦 教授 川西 政治 教授 大塚 顯三

## 論文内容の要旨

P-type Ge 単結晶中の欠陥の性質を調べるために、1.5MeV の電子線照射を行ない、そのために生じた欠陥の焼鈍実験を行なった。試料は不純物として Ga 又は In を dope した P-type Ge で、その不純物濃度は  $3 \times 10^{13} \sim 5 \times 10^{15}$  atoms/cm<sup>3</sup> にわたっている。電子線照射は 77°K で行ない、焼鈍を 77°K～400°K の温度範囲で行なった。その結果 Ga を含む結晶では 5 つの焼鈍過程が、In を含む結晶では 4 つの焼鈍過程があることがわかった。

Stage I (80°K～140°K) は不純物原子の covalent radius の大きい In を含む試料の方が、Ga を含む試料よりも、変化量が大きい。また欠陥の荷電状態が焼鈍過程へ影響をおよぼし、electron を capture していないときは 80°K～140°K で焼鈍する欠陥が、electron を capture していると安定となり焼鈍しにくくなることがわかった。また電子線照射により trap が形成され、その trap の位置は Ga を含む試料では  $E_c - 0.16\text{eV}$  及び  $E_v + 0.16\text{eV}$  であることがわかった。この 2 つの trap のうち  $E_c - 0.16\text{eV}$  にある trap は 20 分間の isochronal annealing を行った場合 210°K までに消滅する。 $E_v + 0.16\text{eV}$  にある trap は 270°K で消滅し、新たに  $E_v + 0.08\text{eV}$  の位置に donor level の生成することがわかった。In を含む試料では  $E_c - 0.10\text{eV}$  に trap が生じ、270°K で消滅する。Stage III (220°K～270°K) で焼鈍する欠陥は electron を capture すると不安定となり、低温で焼鈍する。この stage III の活性化エネルギーは Ga を含むものでは、trap が empty の状態 (electron を capture していない) で焼鈍した場合は 0.38eV, trap が full の状態 (electron を capture している) で焼鈍した場合は 0.23eV であることがわかった。また In を含む試料では trap empty の場合 0.69eV, trap full の場合 0.15eV であることがわかった。Stage V (380°K～) で Hall 係数の電子線照射による変化は完全に回復する。この stage の活性化エネルギーは Ga を含む試料で 1.2eV, In を含む試料で

1.6eV であることがわかった。

5つの焼鈍過程の特徴及び Ga を含む試料と In を含む試料の間の焼鈍の仕方の相異、同一不純物で不純物濃度のちがいによる焼鈍過程への影響等を解析して次の annealing model に到達した。Stage I では  $+e$  の荷電状態の vacancy が migrate して、 $-e$  の荷電状態の substitutional impurity と [vacancy·impurity (substitutional)] complex を作る。この complex の荷電状態は  $+e$  である。この過程の活性化エネルギーは 0.1eV であることがわかった。このエネルギーは vacancy の migration energy と考えられる。

Stage III では  $+2e$  の荷電状態の interstitial impurity が migrate し  $-e$  の荷電状態の substitutional impurity と [impurity (interstitial)·impurity (substitutional)] complex を作る。この complex は  $+2e$  の荷電状態である。これらの model は本実験の結果と同様現在までに他の人々によって得られた研究結果とも抵触しないものである。

### 論文の審査結果の要旨

ゲルマニウム等の半導体は比較的不純物も格子欠陥も含まない結晶をつくることが出来る上に、その物理的性質が構造敏感であるので格子欠陥の研究に適している。

福岡君はガリウム或はインヂウムを含む結晶を試料として、これに 77°K で 1.5MeV の電子線照射を行ない、400°K までの温度範囲で等温或は等時焼鈍実験を行ないその結果を解析した。

まずガリウムを含む試料について、彼は 5 個の焼鈍 Stage がこの温度範囲内にあることを確かめ、低温側から順に Stage 1~5 と命名した。インヂウムを含む試料では Stage 4 は殆んど観測されない。

各 Stage の焼鈍について、彼は不純物の相違やその濃度による影響、焼鈍中に可視光を照射することにより欠陥の荷電状態を変化させたことによる違い、及び焼鈍の Kinetics 等をしらべた。その結果 Stage I は結晶中の空格子点が不純物原子と結合して複合欠陥を形成する過程であることを結論し、空格子点の migration energy として 0.1eV の値を得た。

また Stage III については、これを電子線照射により生じたガリウムの格子間原子が正規の格子位置に置換して入っているガリウム原子と結合する過程であると考えると、実験結果が矛盾なく説明出来ることが論じられている。

他の Stage についても一応の考察が行はれており、焼鈍過程中に現われたり消えたりする level や trap の位置等についても測定が行はれている。

これ等の結果はすべてこの分野の研究に新しい知見を加えたものであり、4 篇の参考論文とあわせ考えて学位論文として十分の価値あるものと認める。