

|         |                                                                                                                                        |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 氏 名     | 井 上 森 雄<br>いの うえ もり お                                                                                                                  |
| 学位の種類   | 理 学 博 士                                                                                                                                |
| 学位記番号   | 論 理 博 第 409 号                                                                                                                          |
| 学位授与の日付 | 昭 和 47 年 11 月 24 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  | <b>Study on Tripyramid Growth of Silicon and Germanium Crystals Grown from the Vapor Phase</b><br>(シリコンおよびゲルマニウムの気相結晶成長における異常成長に関する研究) |
| 論文調査委員  | (主 査)<br>教 授 可 知 祐 次    教 授 水 渡 英 二    教 授 高 田 利 夫                                                                                     |

### 論 文 内 容 の 要 旨

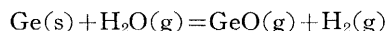
シリコンやゲルマニウムを気相からエピタキシャル成長させる方法は、エレクトロニックスの分野において、各種の p-n ジャンクションや集積回路などの半導体素子製造の重要な技術になっている。この場合に成長層における格子欠陥の存在は電気的性質の劣化の主原因になる。その例の顕著なものとして、シリコン、ゲルマニウムをこれらの塩化物と水素の混合気体から、それら自身の (111) 面を下地として気相成長させると、しばしば三角星芒状のトリピラミッドとよばれる突起物が現れて、電気的特性を著しく劣化させることが知られている。

申請者の主論文は、シリコン、ゲルマニウムの気相成長におけるトリピラミッド出現の異状成長に関するものであって、3部からなっている。

主論文第1部、第2部では、シリコン、ゲルマニウムの (111) 下地面の上に気相成長で現れるトリピラミッドの結晶学的形態、ならびにその生成の原因を、化学腐食法、光学顕微鏡、X線回析、電子線回析、X線マイクロ分析法などによって詳細に調べている。その結果に従えば、トリピラミッドの結晶学的形態はシリコンの場合もゲルマニウムの場合も同様であって、基板 [111] 軸と結晶学的に同等な三つの [111] 軸の回転双晶により生じ、基板に垂直方向がいずれも [511] である三重双晶であることが分かった。この特異な構造は、Chu, Gavalier などと始んど同時に申請者が発見したものである。

また、申請者は、シリコンの気相成長の場合に、下地をあらかじめ炭素で汚染しておく、トリピラミッドが数多く現れることを見出した。また、この際、下地の表面には SiC の成長層が電子回析により観察され、他の実験事実と考え合わせると、炭素による汚染がトリピラミッド生成の主原因であることを確かめている。ゲルマニウムの場合には、不純物が原因であることは確かであるが、不純物が何であるかについては未だ確かめられていない。

主論文第3部では、ゲルマニウムとトリピラミッド生成の防止法として、下地基板の水蒸気による腐食前処理と、その際おこる腐食反応を速度論的に検討している。水蒸気処理の際に



の反応がおこるが、生成した  $\text{GeO(g)}$  は蒸気圧高く、 $\text{GeO(g)}$  が蒸発する際に不純物も共に除かれて下地表面が浄化され、その結果トリピラミッド出現が防止されるとしている。また、この腐食反応の律速段階は  $\text{GeO(g)}$  の蒸発過程であるとして、この反応速度を解析している。

参考論文は9編あり、いずれも化合物半導体、イオン結晶などの腐食法による格子欠陥の観察に関するものである。

### 論文審査の結果の要旨

シリコンやゲルマニウムを気相からエピタキシャル成長させる方法は、半導体素子製造の見地から極めて重要な技術になっている。成長層の結晶欠陥の存在は電気的性質の劣化の主原因であって、結晶欠陥の少ない結晶成長法を基礎的に研究することが望まれている。

申請者の主論文は、シリコンおよびゲルマニウムの気相成長におけるトリピラミッドとよばれる欠陥を伴う異常成長に関するものであって、3部からなっている。

主論文第1部、第2部では、シリコン、ゲルマニウムにおけるトリピラミッドの結晶学的形態とその生成の原因について検討を行なっている。申請者は化学的腐食法、光学顕微鏡、X線電子回析、X線マイクロ分析法などを駆使して、詳細に検討しピラミッドが $[111]$ の回転双晶よりなる多重双晶であることをつぎとめた。この発見は Chu Gavalier の研究と共に他の研究者にさががけて行なわれたものである。またトリピラミッドの生成の原因として、シリコンの場合には、炭素の汚染による微量の  $\text{SiC}$  の存在であると結論し、ゲルマニウムの場合にもやはり何らかの不純物の存在によるものであると推論している。

主論文第3部では、ゲルマニウムに対して下地の水蒸気による前処理がトリピラミッド生成の防止法として有効であることを指摘している。

また、この際の水蒸気のゲルマニウムに対する腐食反応速度論的に検討し、反応の結果生ずる  $\text{GeO}$  の蒸気圧が高いため、かなり迅速に蒸発することを認め、この際不純物が同時に取り除かれる結論としている。

以上要するに申請者は、シリコン、ゲルマニウムの気相成長に関して、半導体現場技術の問題から各種の要因を適確に摘出し、それぞれに対して基礎研究の立場から明確な結論を得ている。

参考論文9編は化合物半導体、イオン結晶などの格子欠陥の観察に関するものである。

主論文、参考論文共に高く評価されるものであって、申請者の優れた学識と研究能力を示すものと判断される。

よって、本論文は理学博士の学位論文として価値あるものと認める。