

氏名(本籍)	NGUYEN・VAN・QUANG (ベトナム)
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	工学甲第 4 号
学位授与の日付	昭 和 56 年 3 月 28 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当 電子科学研究科 電子材料科学専攻
学位論文題目	引上げ半導体結晶内の不純物の不均一分布
論文審査委員	(委員長) 教授 萩野 實 助教授 熊川征司 教授 水晶静夫 教授 山田祥二 助教授 助川徳三

論文内容の要旨

現在チョクラスキー法(回転引上げ法)によって融液からつくられた元素半導体や化合物半導体結晶はさまざまな電子デバイスや光電子デバイスをつくるための基板として用いられている。これらのデバイスの特性は成長結晶に含まれている結晶欠陥、すなわち転位、積層欠陥と不純物濃度分布の不均一性によって好ましくない影響を受ける。最近転位のない半導体結晶がつくられた。しかしながら均一な不純物濃度分布をもっている結晶はまだできていない。不純物濃度分布が不均一になっていると、電気抵抗の値が局部的に異なり好ましくない影響をもたらすためである。

本研究はⅢ—Ⅴ族化合物半導体における不純物濃度分布の不均一性について研究し、不均一な不純物濃度分布を生ずる原因とそれを改善する方法を提案することである。定量的な微視的な不純物濃度を測定できなかったため、微視的な成長速度の変化として不純物濃度分布を調べた。これは、Burton, Prim, Slichter によって提案された B. P. S 理論によると、不純物濃度の変化は成長速度の変化の関数となっているためである。

最初に結晶引上げ時に機械的微小振動を引上げ軸から導入し、機械的微小振動が結晶中の不純物濃度に与える影響を調べた。熱対流と強制対流は off-facet 領域の微視的な成長速度にわずかに影響を及ぼしているが、facet 領域にはほとんど影響を与えていなかった。一方機械的微小振動を導入すると facet 領域の成長速度が変化することがわかった。機械的微小振動を導入したことによる成長速度の速度振幅の変化は以下の通りであった。結晶の直径を同じにして、引上げ速度を 12.5 $\mu\text{m}/\text{sec}$ 、30 $\mu\text{m}/\text{sec}$ とした場合、成長速度の速度振幅は各々 4.5 $\mu\text{m}/\text{sec}$ 、2.5 $\mu\text{m}/\text{sec}$ であった。また引上げ速度をほぼ同じにして結晶の直径を 1.1 cm、1.7 cm にした場合は各々 3 $\mu\text{m}/\text{sec}$ 、1 $\mu\text{m}/\text{sec}$ であった。このことから機械的微小振動の影響を減らすためには、結晶の直径を大きくしたり、引上げ

速度を大きくすることが有効であった。

第2に不純物濃度分布の不均一性は facet と off-facet の境界領域でも見出された。この領域は幅によって带状境界，線状境界，境界がはっきりしない場合の3種類に分類できた。带状境界は facet 領域が結晶のへりに急に拡がった時に形成され，その幅も増加した。带状境界領域とその周辺の干渉縞パターンから，带状境界における不純物濃度は facet 領域と off-facet 領域よりも小さいことがわかった。带状境界で不純物濃度が小さいのは facet 領域と off-facet 領域の成長機構が異なるためである。facet 領域の中央で核が形成された後，急速な横方向への成長が生じ，層が形成される。この層の中へ不純物が多く取り込まれるために，この層の周りの融液の不純物濃度は小さくなる。その結果領域と接している融液中の不純物濃度は小さくなり，境界領域の不純物濃度は facet 領域と off-facet 領域よりも小さくなると考えられる。一方熱的に対称な融液から成長させた結晶では facet と off-facet 領域の境界ははっきりしなかった。しかし両領域の相違は電流パルスによる不純物縞の傾きから区別できた。すなわちるつぼだけを回転させ非対称な温度分布を改良すると，境界領域における不均一な不純物濃度分布を改善できた。

第3に facet と off-facet の境界領域における固液界面形状を数値解析した。最初に，B. P. S 理論が facet と off-facet 領域の両領域に適用できると仮定し，固液界面前方の融液中の不純物濃度分布を求めた。界面近傍における実温度分布は非常に複雑であり測定できなかったため，実温度は off-facet 領域の固液界面に平行であると仮定した。実温度直線と平衡温度曲線との交点は固化点になる。この固化点から得られた曲面が微小時間後に形成される off-facet 領域の固液界面形状とした。得られた固液界面形状は実験のそれと良く一致した。このことから同時刻に成長した off-facet 領域内の不純物濃度は均一でないことがわかった。

第4に off-facet 領域内に microfacet を見出した。microfacet の大きさは3~100 μm であった。microfacet は facet 成長するために不純物濃度は大きく，不純物濃度分布が不均一になる。これは熱対流や引上げ軸から導入された振動によって温度分布が変化し，固液界面が局部的に溶解され，これが再成長する時に形成することがわかった。不純物を多く混入した融液から引上げた結晶の固液界面は波状になっていたが，microfacet は現われていなかった。これは固液界面の溶解が，microfacet の形成の原因であることを示唆していた。

最後に結晶中の不純物濃度の不均一分布を改善する方法を試みた。この方法の特徴は超音波振動をるつぼの底から融液に導入したことである。その結果，成長結晶の固液界面形状が融液に対して凸状から平面状に変化し，結果として facet 領域が消滅した。facet 領域は過冷却状態の融液から成長する。超音波振動による攪拌効果と振動エネルギーの熱エネルギーへの変換の結果，過冷却融液が消滅したと理解出来た。