

論文審査の結果の要旨

氏名 五明 明子

本論文は、III-V 混晶半導体に形成される秩序構造の形成機構について、主に透過型電子顕微鏡を用いた詳細な解析を行い、3 種の秩序形成型の存在、およびそれらのエピタキシャル成長基板表面の微視的性状依存性の詳細を明らかにした研究成果を述べたものであり、全 6 章からなる。

第 1 章では、III-V 混晶半導体中に形成される秩序構造の研究の背景と本研究の意義と位置付けについて述べている。GaInP を活性層とする赤色半導体レーザの研究開発途上において、発振波長異常の問題の発見から、GaInP に CuPt-B 型秩序構造が形成されており、それがバンドギャップ変化に対応していること、また基板表面状態と密接に関係していること、などが明らかにされてきた経緯を述べ、III-V 混晶半導体の秩序構造形成機構の解明という本研究に至った動機を述べている。

第 2 章では、GaInP に見られる CuPt-B 型秩序構造の、基板面方位依存性の巨視的挙動について述べている。有機金属気相成長(MOVPE)法による GaAs 基板上的 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層成長において、基板面方位を(001)面から(111)面まで大きく変化させた場合に、CuPt-B 型秩序構造形成とバンドギャップは、(001)面から[111]A 方向へ傾斜させていった場合と[-111]B 方向へ傾斜させていった場合とで傾斜角の依存性の振る舞いが大きく異なるが、傾斜角が 15.8° 面以上では、傾斜方位に関わらずほぼ正常値をとることが明らかにされている。また、CuPt-B 型の形成を透過電子線回折像と透過型電子顕微鏡像により観察した結果から、秩序形成強度とバンドギャップ変化の対応関係を確認している。

第 3 章では、CuPt-B 型に加え新たに見出した 2 種の秩序構造 TP-A 型および CuPt-A 型を含む 3 種の秩序構造に対して、秩序構造の型と成長中の表面再配列構造の対応関係について述べ、より微視的視点から、原子レベルでの成長中の表面構造と秩序構造形成の関係について論じている。ガスソース分子線エピタキシー(GSMBE)成長による(001)InP 上の AlInAs と GaInAs の高エネルギー電子線回折像による表面再配列構造の観察と結晶の断面 TEM 観察から、CuPt-B 型 が形成されるとき成長中の表面再配列構造は 2×1 構造であり、TP-A 型のとき 2×3 構造であること、また GSMBE 成長による(001)GaAs 上 AlInP と GaInP では、CuPt-A 型と CuPt-B 型の形成時には、成長中表面はそれぞれ 2×2 構造と 2×1 構造であることを明らかにした。以上から、CuPt-B 型、TP-A 型、CuPt-A 型の 3 種の秩序構造の型とエピタキシャル層成長中の表面再配列構造の周期が一対一に対応しており、秩序構造の(001)平面内の周期性とその周期の方向が、成長中の表面再配列構造の周期性とその方向に良く一致していることが示され、エピタキシャル成長中の表面再配列構造が、秩序構造形成に決定的な役割を果たしていることが明らかにされた。さらにまた、3 元混晶を構成する基本 2 元化合物同士のボンド長差とボンドエネルギー差の大きい混晶で、秩序構造形成の強度が大きいことを明らかにし、ボンド長差とボンドエネルギー差の存在が、秩序構造形成に影響を及ぼしていることを明らかにした。

第 4 章では、前章で述べた秩序構造を中心に秩序構造形成と基板の微傾斜との関係について述べ、エピタキシャル成長中の秩序構造の形成機構について述べている。微傾斜 InP 上の AlInAs の TP-A 型、InP 基板上 GaAsSb 層の CuPt-B 型、および GaAs 上 AlInP における CuPt-A 型のそれぞれの秩序構造の、高分解能断面透過型電子顕微鏡像および高分解能断面走査型トンネル顕微鏡像の観察結果などと、第 2 章に述べられている結果を併せて考察し、3 種の $\langle 111 \rangle$ 方向の秩序構造において、共通して成長表面上の原子ステップが秩序構造の特定の方向の形成を促進することを系統的に明らかにした。

第 5 章では、MOVPE 成長 GaInP の CuPt-B 型秩序形成における傾斜基板上的のステップ

バンチングの効果と秩序構造のドメイン形成について述べている。CuPt-B 型ドメインの成長面上のサイズとステップバンチング距離の間に良い相関関係のあることを示し、低 V/III 比下では CuPt-B 型ドメイン境界はバンチング面上に無秩序領域として形成されること、また高 V/III 比下でテラス面上に反位相境界が発生することを、およびその原因がテラス面上の表面再配列構造における V 族ダイマーの形態にあることを明らかにしている。

第 6 章では、本論文を総括し、今後の課題と展望について述べている。III-V 混晶半導体の有用性が益々高まる中で、秩序構造の形成機構を含む成長機構の理解の更なる深化が望まれること、さらに新規な観察手段による新しい知見への期待を述べている。

なお、本論文の第 2 章から第 5 章は、鈴木徹、牧田紀久夫、日野功、小林健一、河田誠治、堀田等、角野雅芳、大河内俊介、河村裕一、宮坂文人、深谷一夫、多田健太郎、藤井宏明、古橋隆寿、市橋鋭也、C.C. Hsu との共同研究を含んでいるが、論文提出者が主体となって実験および解析を行ったもので、本人の寄与が十分であると判断される。

以上、本論文は、物質科学へ大きく寄与するものであり、よって、博士（科学）の学位を授与できると認められる。