

IV族直接遷移型量子光素子の開発 Development of Group-IV LED

H29助自68

代表研究者 塚 本 貴 広 電気通信大学 大学院情報理工学研究科 助教
Takahiro Tsukamoto Assistant Professor, Graduate School of Informatics and Engineering,
The university of Electro-Communications

The development of energy saving technology in electronic products is very important. Optical circuits are most effective for reducing energy consumption and silicon photonics is promising for a practical use. However, Si is an in-direct gap material and light emitting devices composed of Si have not been realized. GeSiSn can independently control the lattice constant and band-gap and can be lattice-matched with Ge. By using GeSiSn as a barrier layer, it is possible to form a Ge quantum well structure, and a highly efficient light emission is expected. Since GeSn is a direct-gap material, it is expected to improve the optical property of the light emitting devices by adopting a GeSn/GeSiSn quantum well structure using GeSn as a quantum well and GeSiSn as a barrier.

In this study, we developed the technologies for light emitting devices using GeSiSn and GeSn. Sputter epitaxy method was used for forming GeSn and GeSiSn layers. This method is a physical deposition method in a large-scale and a toxic material is unnecessary. We also formed Ge/GeSiSn quantum well structure with lattice-matched with Ge. Ge is a quantum well and GeSiSn is a barrier layer. The film thicknesses of the Ge and GeSiSn layers were about 10 and 5 nm, respectively. The quantum well was observed by a transmission electron microscope (TEM). In the TEM image, we have successfully observed clear contrast and abrupt interface at the film, and no dislocation defects were observed. Then, the optical characteristics of the semiconductor layer formed by the sputter epitaxy method were evaluated by photoluminescence measurement (PL). In the SiGe layers, we successfully obtained the emission spectra by lowering the oxygen impurity concentrations in the films. The optical characteristics evaluation of the Ge/GeSiSn quantum well structure is a future work.

研究目的

消費エネルギーの増大や化石燃料の枯渇により、再生エネルギー技術の開発が求められているが、それと同時に、エネルギー消費を抑制した環境軽負荷な省エネルギー社会の構築が求められている。さらに、自動走行・ロボット・IoT産業の発展が期待され、エレクトロニ

クス製品の需要は今後も増えていき、その消費エネルギーの増大が懸念されており、エレクトロニクス製品における省エネルギー技術の開発は非常に重要な課題である。省エネルギー化に向けては光回路の導入が有効であり、電気配線を光配線に置き換えることでエネルギー消費を抑制できる。光回路の導入においては、安価なシリコンフォトリソグラフィが期待されている

が、光源がSi系IV族半導体で実現されていない点が課題であった。Ⅲ-V族材料により構成された発光デバイスは優れた発光特性を示しており実用化のレベルにあるが、汎用品への搭載を考慮すると低コストなSi系により構成された発光デバイスが好ましい。Siは間接遷移であるため発光効率が低く、発光デバイスは実現されていない。

本研究は、IV族半導体において直接遷移するGeSn及びGeSiSn膜に着目し、従来困難であったIV族発光デバイスの実現を目指す研究である。また、GeSiSnは格子定数とバンドギャップを独立に制御でき、Geと格子定数整合しながらバンド変調が可能であるため、GeSiSnを障壁層として用いることで、従来困難であったGe量子井戸の形成が可能となる。量子井戸構造は従来のGe量子ドット構造の発光デバイスよりも高い量子閉じ込め効果が期待され、高効率な発光が期待される。また、直接遷移GeSnを量子井戸、GeSiSnを障壁に用いたGeSn/GeSiSn量子井戸を採用することにより、さらなる発光効率の向上が期待される。以上のように、新規なIV族半導体材料を用いた高効率化が期待される発光デバイスを新規に提案し、その要素技術の開発に取り組む。

概 要

エネルギー消費を抑制した環境軽負荷な省エネルギー社会の構築が求められている。エレクトロニクス製品の需要は今後も増えていき、その消費エネルギーの増大が懸念されている。省エネルギー化においては、電気配線を光配線に置き換えること（光回路の導入）でエネルギー消費の抑制が可能である。光回路においては、安価なシリコンフォトニクスが期待されているが、光源がSi系IV族半導体で実用化されていないという課題があった。汎用品への搭

載を考慮すると低コストなSi系により構成された発光デバイスが好ましいが、Siは間接遷移であるため発光効率が低く、発光デバイスは実現されていない。

これまでにIV族半導体により構成された発光デバイスとして、Geドットを用いた発光デバイスが広く研究されており、これはタイプⅡ構造の隣接層間バンド間遷移により発光している。一方で、量子井戸を用いた発光デバイスでは、タイプⅠ構造のバンド間遷移であるため発光効率は優れているが、SiやGeのヘテロエピ結晶成長では、タイプⅠ構造の量子井戸を形成することは極めて難しい。IV族量子井戸積層構造の実現や高効率発光する直接遷移の特性獲得においては、新しい材料の開発が必要である。

3元素により構成されたGeSiSnは格子定数とバンドギャップを独立に制御できるため、Geと格子定数整合しながらバンド変調が可能である。GeSiSnを障壁層として用いることで、従来困難であったGe量子井戸構造の形成が可能となる。量子井戸構造は従来のGe量子ドット構造の発光デバイスよりも高い量子閉じ込め効果が期待され、高効率な発光が期待される。また、GeSnは直接遷移であるため、GeSnを量子井戸とし、GeSiSnを障壁として用いたGeSn/GeSiSn量子井戸構造を採用することにより、さらなる発光効率の向上が期待される。新規なIV族半導体材料GeSn及びGeSiSnを用いることで、高効率なIV族発光デバイスの実現が期待される。

本研究では、これらのGeSn及びGeSiSnを用いた発光デバイスの試作に向けた要素技術の開発に取り組んだ。GeSiSn及びGeSnの薄膜形成手法として、大面積成膜可能な物理体積法であるスパッタエビタキシー法を採用した。有毒な原料が不要であり、原料利用効率も優れた半導体成膜法である。ここでは、まずGeSn及

びGeSiSn薄膜の結晶成長を行い、組成比及び格子定数の確認を行った。組成比と格子定数はバンドギャップと関係があり、発光特性に大きく影響を及ぼす。また、Sn組成比が10%以上でないとGeSnは直接遷移しないため、Snの組成比は重要である。これらの評価は、X線回折法(XRD)及びラザフォード工法散乱法(RBS)を用いた。結果として、Geに格子定数整合したGeSiSn薄膜の形成と、10%以上のSn組成比を有するGeSn薄膜の形成を達成している。

次に、Geを量子井戸とし、GeSiSnを障壁層としたGe/GeSiSn量子井戸構造を形成した。20層の繰り返し構造とし、Ge量子井戸の膜厚は10nm、GeSiSn障壁層の膜厚は5nmとした。透過型電子顕微鏡(TEM)による原子レベルでの形状観察では、積層膜全体において明瞭なコントラストと急峻な界面の観察に成功している。また、転位欠陥も見られず、制御性良く量子井戸構造が低欠陥に形成されていることがわかった。GeとGeSiSnが格子定数整合した状態で積層されているため、上層部においても均一に量子井戸構造が形成できたと考えられる。

そして、スパッタエピタキシー法により作製した半導体層の光学特性評価を行った。光学特性の評価としてフォトルミネッセンス測定(PL)を用いた。SiGe膜においては、膜中の酸素不純物濃度を下げることで発光スペクトルの取得に成功しており、スパッタエピタキシー法により形成した半導体層においても発光特性が得られることを明らかにした。試作したGe/GeSiSn量子井戸積層膜の光学特性評価では発光スペクトルは得られておらず、今後、酸素不純物濃度を下げることで発光スペクトルが得られると期待される。

本研究では、IV族発光デバイスの実現に向けた要素技術の開発として、GeSn及びGeSiSn薄膜を形成し、Ge/GeSiSn量子井戸積層膜の形

成を達成した。また、スパッタエピタキシー法により形成した半導体層の発光デバイスへの応用に向けた光学特性評価を行い、薄膜由来の発光スペクトルの取得に成功している。高効率な量子井戸型のIV族発光デバイスの実現が期待される。

－以下割愛－

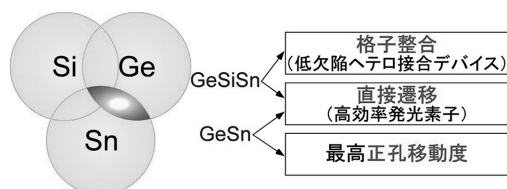


図1 GeSn及びGeSiSnとその特徴。