

ワイドギャップ半導体ラボ

(Widegap Semiconductor Materials Lab.)

研究項目及び研究期間

結晶場制御によるワイドギャップ半導体ヘテロ材料の研究 (平成10年度～15年度)

原子力エレクトロニクスのための素子化プロセス技術に関する研究 (平成10年度～14年度)

革新的窒化物量子効果デバイスの研究 (平成12年度)

1. 研究の背景

現在の情報処理を目的としたエレクトロニクスにおいては、その中核機能を担う半導体デバイスの材料としてSiが用いられており、超LSI技術に見られるように微細加工にめざましい進展が見られる。また、LED等の光デバイスや高周波デバイスには、III-V族化合物半導体であるGaAsやGaP、InGaAs等の材料が用いられている。しかしながら、エレクトロニクスが進展するに従い、物性的な制約からこれらの半導体材料ではカバーしきれない仕様や要求が顕在化してきた。高温や放射線環境化での耐環境動作、高周波、高出力、低損失等の要求で、エンジン制御・電力変換・移動体通信など産業界から大きなニーズがあるにもかかわらず、Si等を用いている限り本質的な進展は望めないのではないかと懸念されている。これらの分野では、材料物性的に優位性を持つSiCやIII族窒化物等のワイドギャップ半導体材料を用いることで、その厳しい要求に応えることができ、大きなブレークスルーをもたらすと期待されている。

ワイドギャップ半導体は、周期律表第2周期のCやN、O等の元素を含む半導体で、原子の結合が通常の半導体に比べて強く、化学的に安定であるという特徴を持っている。強い原子結合の結果、熱伝導度や飽和ドリフト速度、絶縁破壊電圧等の物性値が高くなり、先に述べたような要求を満たすことが可能になる。一方、結合が強いため、その良質の結晶を得るのはより困難となり、SiやGaAsに比較してデバイス応用の研究はかなり遅れているのが現状である。

2. これまでの研究経過と現状

当所では、これらワイドギャップ半導体材料の可能

性にいち早く着目し、1970年台後半から結晶成長を中心にその研究(特別研究「機能性人工格子に関する研究」、次世代産業基盤技術開発「耐環境強化素子の研究開発」、原子力特別研究「耐放射線半導体開発のための材料基礎技術に関する研究」、省際基礎研究「ワイドギャップ窒化物半導体エレクトロニクス材料の研究」等)を行ってきた。最近では、結晶成長法の進歩の結果、これらワイドギャップ半導体の高品質結晶が得られるようになり、デバイス応用を想定した研究を可能とする技術レベルに到達してきている。

現在当ワイドギャップ半導体ラボでは、上記ワイドギャップ半導体の内、GaN等のIII族窒化物、及び炭化物であるシリコンカーバイド(SiC)を対象に、結晶成長からデバイス作製にわたる広い領域で研究を行っている。結晶の高品質化に伴い、最近では特に機能性実現を目指してこれらの材料のデバイス応用に軸足を移してきている。

2.1 結晶場制御によるワイドギャップヘテロ材料

GaNやAlGaNなどのIII族窒化物半導体の高品質エピタキシャル薄膜を分子線エピタキシー(MBE)法で作製する技術を中心に、その基礎物性評価やデバイスプロセス開発、デバイス作製などを行っている。III族窒化物半導体は青色LED等の開発で注目を集めている材料であるが、これらの発光デバイス作製に用いられるMOCVD法は結晶成長法として必ずしも満足のものではない。MBE法を用いればその欠点を解消できるのみならず、III-V族化合物半導体機能デバイスの基本であるヘテロ構造を制御性良く作ることができると期待されている。しかし、今までMBE法によるエピタキシャル膜の特性はMOCVD法に比べてかなり劣っていた。当ラボでは最近、MBE成長膜の格子の極性を制御することにより、通常のMOCVD成長膜の特性を凌駕

するほどの特性が得られることを実証した。そして、そのMBE成長膜を用いてヘテロ接合電界効果トランジスタの動作確認に成功し、MBE成長膜の電子デバイス用材料としてのポテンシャルを示すことができた。

また、GaNは通常六方晶構造を取るが、III族窒化物は他にGaAsのような立方晶構造を取るものも存在する(ポリタイプ)。このポリタイプ結晶に着目して原子層の積層順を制御できれば、結晶構造の異なる物質から構成され格子整合が理想的なヘテロ構造が可能となる。これは極めて重要な技術で、理想的に整合する材料によるバンドエンジニアリングや新物質創製への道を開くものである。当ラボでは、この立方晶III族窒化物の研究にも力を入れており、世界に先駆けて立方晶GaNのバンドギャップを決定したり、立方晶AlGaNエピタキシャル膜の作製に成功するなどの成果を出している。

2.2 原子力エレクトロニクスのための素子化プロセス技術

原子炉近辺や宇宙など、高温高放射線環境で安定に動く半導体素子のためのプロセスを開発することを目的に、SiCを中心としてCVD法による結晶成長からそれらのデバイスプロセスの研究を行っている。SiCのエピタキシャル結晶成長のためには1600°C以上の高温が必要で、そのための装置開発や成長シミュレーションも含めてエピタキシャル成長技術の研究を行い、立方晶SiCの厚膜成長や移動度世界最高値の実現、アンチフェーズドメイン消失機構の解明等の成果を得ている。また、デバイスプロセスとして、MOS構造に替わるAlN/SiC構造においてフラットバンド電圧が極めて小さくなることを見だし、SiCのための新しい絶縁膜の可能性を示した。更に、立方晶SiCを用いたショットキーダイオードにおいて、電極プロセスの改善により240Vという世界最高の逆耐圧特性を得ることに成功している。また、SiCのMOS界面改善の手がかりを得るため、原子レベルでの酸化機構解明のツールとして、分光エリプソメトリーやATR/FTIR法の開発にも注力している。

3. 今後の研究展開の方向

当ラボを中心としたワイドギャップ半導体の素子

応用の研究は、「平成10年からNSS「超低損失電力素子の技術開発」として国家プロジェクトに発展し、現在素子実用化を目指した企業との集中研方式の研究開発が進行中である。新法人移行後は、このNSSプロジェクトを中心とするパワーエレクトロニクスセンターが活動の場となる予定である。今後も、これらIII族窒化物及びSiCを次世代の半導体材料として位置づけ、エピタキシャル結晶の更なる特性改善やプロセス改善を通して、最初に述べた過酷仕様を満たすワイドギャップ半導体の優れたデバイス機能実現、ひいてはワイドギャップ半導体エレクトロニクスの構築を目指してゆく所存である。

当該研究項目担当者等

ラボ構成員(総数16名)

職員(5名) 奥村 元*, 清水三聡, 石田夕起(材料科学部),
高橋徹夫, 杉山佳延(電子デバイス部)

職員以外(11名) 吉田貞史(埼玉大学), 秩父英重(筑波大学), 宗田孝之(早稲田大学), 鷹野致和(明星大学), 白樫淳一(秋田県立大学), 土田秀一, 鎌田功穂,
直本 直(電力中央研究所), 伊藤久義, 吉川正人, 大島 武(日本原子力研究所)

*ラボリーダー