

大容量SiC半導体の基盤技術の確立 —高速・大口径エピタキシャル結晶成長技術の開発—

背景

SiC半導体を適用したパワーエレクトロニクス機器は、エネルギー損失の低減による高効率化、高電圧化による小型化など、従来のSi系半導体素子を適用した場合に比べ、大幅な高性能化が期待できる。当所では、電力分野におけるSiC半導体の適用を目指して、SiCエピタキシャル結晶成長技術*1の開発を進めてきた。電力用ならびに民生・産業用途用SiC半導体素子の実現のためには、高品質かつ大口径の4H-SiC*2厚膜を高速で成長させるエピタキシャル結晶成長技術の開発が必要不可欠である。

目的

高品質の4H-SiCエピタキシャル結晶を、大口径において均一かつ高速に成長させるためのエピタキシャル結晶成長技術を開発する。

主な成果

1. 高速・大口径エピタキシャル結晶成長装置（CVD*3装置）の開発

炉内構造の検討を行い、炉内温度分布を均一にするため、高周波加熱コイルとサセプター（基板台）の垂直方向の位置調整を可能にした。また、大口径均一性を得るため、サセプター回転機構の導入と、反応ガス導入口の口径ならびに位置の調整を可能にした（図1）。

2. 開発したCVD装置の性能

開発したCVD装置において、原料ガス濃度を高くするほど結晶成長速度が増加できることを確認した。これにより最大成長速度として、現在報告されている4H-SiCエピタキシャル成長速度としては最も速い250 $\mu\text{m}/\text{h}$ を得ることができた（図2）。

大口径均一性を考慮して炉内構造の最適化を行った結果、実用上十分なレベルの成長速度と大口径均一性を得ることができた（図3）。直径4インチを超える大口径において20 $\mu\text{m}/\text{h}$ 以上の高速成長を報告した例は本報告が初めてである。

3. エピタキシャル結晶品質

低温フォトルミネッセンス（PL）測定（図4（a））、原子間力顕微鏡（AFM）による表面粗さ解析（図4（b））、PL発光寿命測定（図4（c））により、作製したエピタキシャル結晶の品質評価を行った。各測定において、エピタキシャル結晶が高純度かつ高品質であることを示す結果が得られた。

以上の結果から、SiC素子の実用化に十分な品質を持つ高速・大口径4H-SiCエピタキシャル結晶成長技術を開発し、実証した。なお、本成果は、2007年度応用物理学会SiC及び関連ワイドギャップ半導体研究会において、研究奨励賞を受賞した。

今後の展開

高速・大口径SiCエピタキシャル結晶成長技術の実用化、同技術の高電圧SiC素子への適用を図る。

主担当者 材料科学研究所 機能・機構発現領域 特別契約研究員 伊藤 雅彦

関連報告書 “Development of 4H-SiC epitaxial growth technique achieving high growth rate and large-area uniformity” : Applied Physics Express 1 (2008) 015001

*1：基板となるSiC単結晶の上に、素子の動作領域となる高品質なSiC単結晶膜を新たに結晶成長させる技術。

*2：SiC単結晶の結晶多形（ポリタイプ）のうちの1つ。パワーデバイスに最適な物性値を持つ。

*3：Chemical Vapor Deposition（化学気相成長）の略。原料をガス状態で供給し、化学反応を起こさせ、薄膜を堆積させる方法。

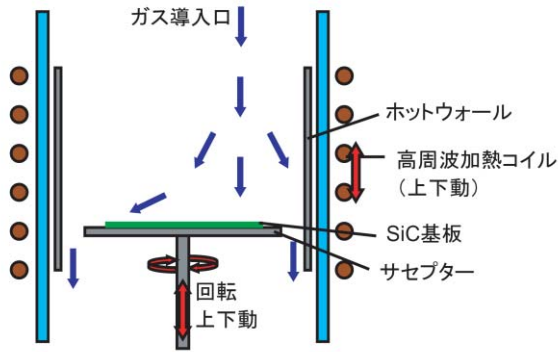


図1 本報告で開発したCVD装置の炉内断面図。

高周波加熱コイルによりホットウォールが加熱され、ホットウォールの輻射熱により炉内全体が加熱される。成長条件を最適化するために、ガス導入口の口径、位置、高周波加熱コイル位置、サセプター位置が調整可能な構造となっている。

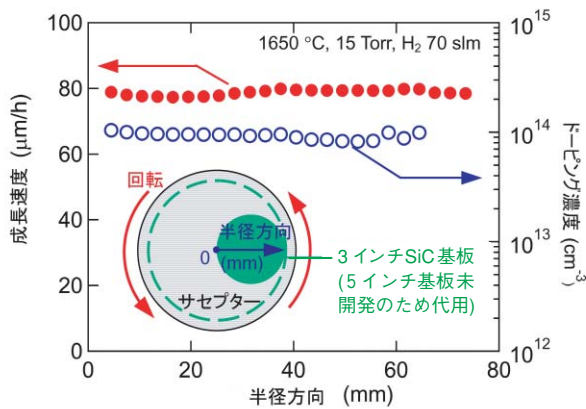


図3 サセプター中心からの半径方向へのエピタキシャル成長速度分布（赤丸）およびn型ドーピング濃度分布（青丸）。

直径5インチ相当の面積において、平均成長速度 $79 \mu\text{m/h}$ を達成するとともに、成長速度分布ならびにn型ドーピング濃度分布が、実用レベルの面内均一性を得ることに成功した。

成長速度均一性 $\sigma / \text{mean} = 1.1\%$,
 平均成長速度 $79 \mu\text{m/h}$,
 n型ドーピング濃度均一性 $\sigma / \text{mean} = 6.7\%$,
 平均n型ドーピング濃度 $9.3 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$

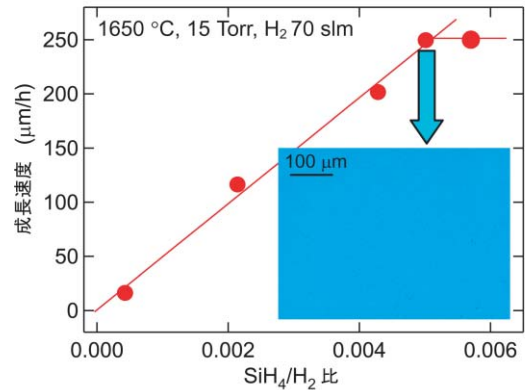


図2 エピタキシャル成長速度の原料ガス濃度依存性。挿入図は $250 \mu\text{m/h}$ で成長させたエピタキシャル膜の表面顕微鏡像。

従来のSiCエピタキシャル成長よりも10倍以上速く、これまでの報告例で最高となる $250 \mu\text{m/h}$ の高速成長を達成した。

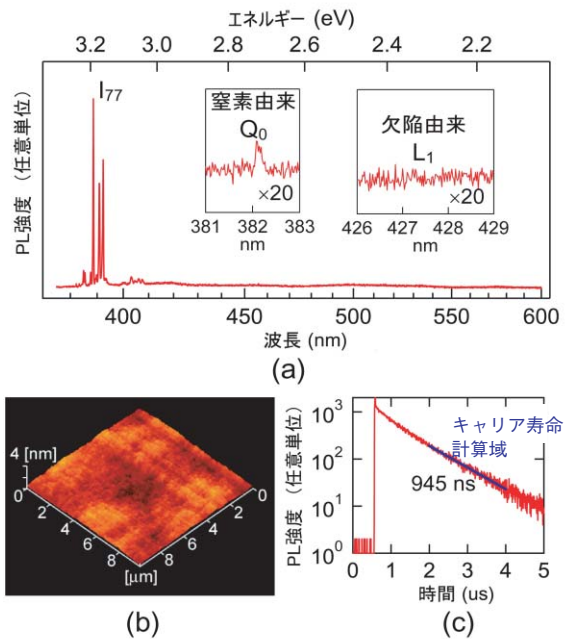


図4 (a) $75 \mu\text{m/h}$ にて作製したエピタキシャル膜の低温フォトルミネッセンススペクトル。 $280 \mu\text{m}$ 厚膜の (b) 表面AFM像および (c) 発光寿命曲線。

結晶の高品質性を示す自由励起子 (I_{77}) のフォトルミネッセンスが強く観測されるとともに、平坦な表面（表面ラフネス 0.20 nm ）、かつ長いキャリア寿命（平均 $1.0 \mu\text{s}$ ）が得られており、実用化に十分な、高品質のエピタキシャル結晶が得られたことが確認された。