

研究成果報告書

所属機関	職名	氏名
東海国立大学機構名古屋大学	准教授	原田 俊太
未来材料・システム研究所		
未来エレクトロニクス集積研究センター		

研究テーマ

SiCパワーデバイスにおける特性劣化抑制法の開発

研究報告

1. 研究の背景と目的

SiCは高電力および高温デバイスに適した有望な半導体材料であり、様々な電子システムで使用されている。しかし、SiCバイポーラデバイスでは、順方向バイアス条件下でエピタキシャル層内の単一 Shockley 型積層欠陥 (1SSF) が拡大し、デバイスの特性が劣化する問題が生じている。1SSFの拡大は、基底面転位 (BPD) と呼ばれる (0001) 基底面上の $1/3\langle 11\bar{2}0 \rangle$ バーガースベクトルを持つ部分転位から生じる。また、高濃度の窒素ドーパド 4H-SiC 中では、高温アニーリング中に二重 Shockley 型積層欠陥 (2SSF) が拡大する現象も報告されている。

これまでの研究では、1S 積層欠陥の拡大はエピタキシャル層内の BPD から生じることが報告されており、BPD 密度の低減には多くの努力が払われてきた。SiC エピタキシャルウェーハでは、BPD が貫通刃状転位 (TED) へ変換することで、BPD 密度はほぼゼロ (1 cm^{-2} 未満) となる。しかし、高電流印可下では BPD-TED 変換点で 1S 積層欠陥の拡大が発生することが報告されている。1SSF の拡大を抑制するためには、適切なバッファ層の設計が重要であり、また、4H-SiC における「再結合により促進された部分転位の滑り」という現象による臨界解決せん断応力 (CRSS) の低下も重要な要素である。

本研究では、プロトン照射を使用して SiC パワーデバイスにおける積層欠陥の拡張を抑制する手法を開発し、バイポーラ劣化問題を解決することを目指している。プロトン照射による積層欠陥の抑制効果とそのメカニズムを明らかにすることで、SiC パワーデバイスの信頼性向上に貢献することを目指している。

2. 研究成果および考察

図1はプロトン照射を行っていない試料のUV照射時間に応じたX線トポグラフィ画像である。この図で示されるように、プロトン照射を行わない4H-SiCエピタキシャル層では、UV照射によって積層欠陥がBPDから拡大する現象が確認された。図2にプロトン照射量が 1×10^{11} から $1\times 10^{13}\text{ cm}^{-2}$ の範囲である試料のUV照射前後のX線トポグラフィ画像を示す。これらから、 1×10^{11} から $1\times 10^{13}\text{ cm}^{-2}$ の範囲のプロトン照射により、積層欠陥の拡大が抑制されることが明らかになった。X線トポグラフィの観察から、373 KでのUV照射のない状態での積層欠陥エネルギーが評価され、積層欠陥エネルギーは+2から-5 mJ/m^2 の範囲であることがわかった。この値は、高温で変形した部分変位の分離幅に基づく予想値 (5から20 mJ/m^2) よりも低い。さらに、キャリア寿命の測定により、プロトン照射によってキャリア寿命が減少することが確認された。特に、 $1\times 10^{12}\text{ cm}^{-2}$ 以上のプロトン照射により、キャリア寿命の減少が顕著に観察された。興味深いことに、 $1\times 10^{11}\text{ cm}^{-2}$

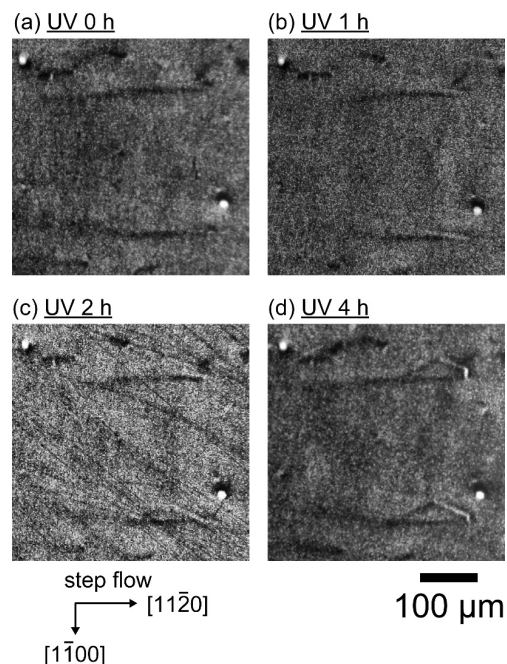


図 1. プロトン照射を行わない試料の UV 照射時間に応じた X 線トポグラフィ画像 (a : 0 時間、b : 1 時間、c : 2 時間、d : 4 時間)。

m²のプロトン照射によっては、積層欠陥の拡大が抑制される一方で、キャリア寿命の減少はほとんど観察されなかった。これは、プロトン照射によって導入された部分転位と点欠陥との相互作用により、転位の滑り運動が妨げられることを意味する。図3に、厚さ5 μm、窒素濃度6×10¹⁵ cm⁻³のエピタキシャル層および1973 Kで1時間のアニール後に1×10¹⁵ cm⁻²のドーズ量で0.3 MeVのプロトン照射を行った試料のX線トポグラフィー画像。X線トポグラフィー画像は、試料に対して373 Kで10時間の10 Wcm⁻²のUV照射を行った前後に撮影されたものである。さらに、キャリア寿命の回復のために高温アニリングを行った後でも、積層欠陥の拡大が抑制された。これは、プロトン照射が転位の運動を妨げるという仮説を裏付ける結果である。これらの結果から、プロトン照射は積層欠陥の拡大を抑制し、SiCパワーデバイスにおける特性劣化問題の解決の可能性が示唆された。

3. 将来展望

この研究により、SiCパワーデバイスにおける特性劣化抑制法の開発に向けて重要な成果が得られた。今後の研究では、プロトン照射条件の最適化や実際のデバイスへの応用に向けた評価が必要とされる。これにより、SiCパワーデバイスの信頼性向上に貢献することが期待される。

4. 研究発表

査読付き論文

- (1) “Suppression of partial dislocation glide motion during contraction of stacking faults in SiC epitaxial layers by hydrogen ion implantation”
Shunta Harada, Hitoshi Sakane, Toshiki Mii, Masashi Kato
Applied Physics Express 16(2) 021001.
- (2) “Suppression of stacking fault expansion in a 4H-SiC epitaxial layer by proton irradiation”
Shunta Harada, Toshiki Mii, Hitoshi Sakane, Masashi Kato
Scientific Reports 12(1) 13542.

学会発表

- (1) “Suppression of recombination enhanced dislocation glide motion in 4H-SiC by hydrogen ion

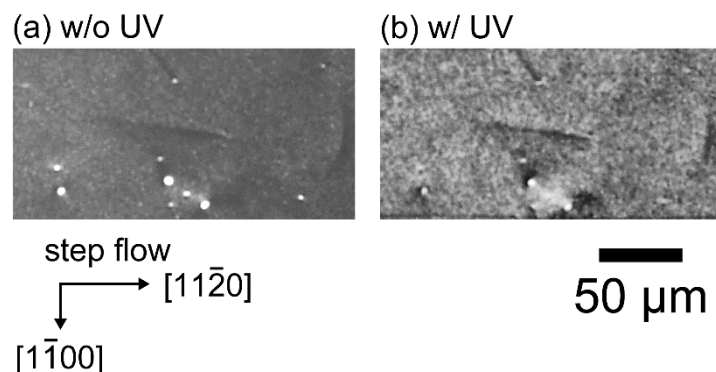


図 3. 厚さ 5 μm、窒素濃度 6×10¹⁵ cm⁻³のエピタキシャル層および 1973 K で 1 時間のアニール後に 1×10¹⁵ cm⁻² のドーズ量で 0.3 MeV のプロトン照射を行った試料の X 線トポグラフィー画像。X 線トポグラフィー画像は、試料に対して 373 K で 10 時間の 10 Wcm⁻² の UV 照射を行った前後に撮影されたものである。

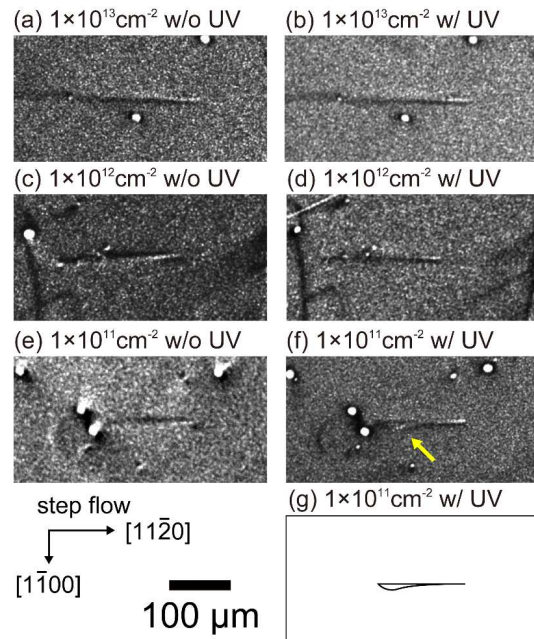


図 2. (a)-(f) プロトン照射量が 1×10¹¹ から 1×10¹³ cm⁻² の範囲である試料の UV 照射前後の X 線トポグラフィー画像 (g : (f) に示される積層欠陥の形状の模式図)。

implantation”

Shunta Harada, Toshiki Mii, Hitoshi Sakane, Masashi Kato

19th International Conference on Silicon Carbide and Related Materials (2022).