

平成 22 年 6 月 1 日現在

研究種目：若手研究(B)  
 研究期間：2007 ～ 2009  
 課題番号：19760215  
 研究課題名(和文) ミクロン領域過剰キャリアライフタイム評価によるSiCデバイス性能劣化欠陥の特定  
 研究課題名(英文) Identification of defects degrading SiC device performance by the excess carrier lifetime mapping with micrometer resolution  
 研究代表者  
 加藤 正史 (KATO MASASHI)  
 名古屋工業大学・大学院工学研究科・准教授  
 研究者番号：80362317

研究成果の概要(和文)：本研究はシリコンカーバイド(SiC)デバイスの性能を劣化させる欠陥の同定を目指し、ミクロンオーダーの分解能を有する過剰キャリアライフタイムマッピング装置の作製をしたものである。その結果、シリコン試料におけるライフタイムマップの取得に成功したが、SiCの評価には改善が必要であることが判明した。その一方、様々な欠陥濃度を有するp型SiCの評価を行うことで、炭素に関連する結晶欠陥がp型SiCにおけるキャリアライフタイムに影響することを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We have developed an excess carrier lifetime mapping system with micrometer resolution for identification of defects degrading device performance in silicon carbide. As a result, although we have obtained excess carrier lifetime maps for silicon samples, further improvement of the system has been required to obtain excess carrier lifetime maps for silicon carbide. On the other hand, by characterizing excess carrier lifetime in p-type silicon carbide with various defects concentration, we have found that carbon-related defects have impact on the excess carrier lifetime in p-type silicon carbide.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,400,000	0	2,400,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	330,000	3,830,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子・電気材料工学

キーワード：作成・評価技術

## 1. 研究開始当初の背景

(1)ワイドギャップ半導体であるシリコンカーバイド(SiC)は次世代の低損失パワーデバイス用材料である。しかしながら、SiCパワーデバイスは未だ普及に至っていない。その

理由はデバイス一つ当たりのコストが高いこと、および長期信頼性が低いことなどの問題の存在であった。デバイスコストの問題は高価格なSiCウェハのためでもあるが、ウェハ中に存在する積層欠陥や転位などの

結晶欠陥がデバイスの性能を劣化させるため歩留まりが下がることも大きな原因であった。また信頼性の問題の要因として結晶欠陥が不純物を取り込みデバイスの長期信頼性も下げるためだという報告が存在した。つまりこれらの問題を解決するためには結晶欠陥の低減と結晶の高純度化が必須であると考えられる。

(2)一方、全ての種類の結晶欠陥がデバイスの性能劣化や長期信頼性の低下を導くわけではないということも明確な事実である。従って、SiC ウェハ中での結晶欠陥を完全に取り除かずとも、デバイスに悪影響を与えるものさえ取り除けば効率良くデバイスの実用化に近づく。そのための条件として、結晶欠陥とデバイスの性能との相関性の正確な把握が必須である。しかしながら、研究開始当初時点ではその把握は充分とは言えず、その原因として相関を取るもの同士の物理的サイズの問題があった。結晶欠陥はミクロン以下でありデバイスは通常数百ミクロン以上というサイズであるため、それらの間には二桁に及ぶ差が存在した。よって、ミクロンオーダーの面分解能を持つ評価技術を用いる事で結晶欠陥を評価し、そのデバイスに対する影響の見積もりが試みられてきた。しかしながら、それら評価技術は結晶欠陥の電気的特性ではなく光学的特性や化学的特性を評価するものであったため、結晶欠陥をデバイスの性能と直接関連付けられなかった。

## 2. 研究の目的

(1)本申請では未だ議論の最中にある SiC の結晶欠陥とデバイス性能の相関性を明らかにするため、デバイスの動作に直接関連する電気的特性である過剰キャリアライフタイムをミクロンオーダーの面分解能で評価する装置を開発し、SiC における結晶欠陥と SiC デバイスの性能との相関性の理解を試みる。

## 3. 研究の方法

(1)従来の過剰キャリアライフタイム測定法であるマイクロ波光導電減衰法 ( $\mu$ -PCD 法)を発展させ、ミクロンオーダーの面分解能を有する過剰キャリアライフタイムマッピング装置を作製する。顕微鏡による励起レーザー径微細化およびコンピュータ制御 X-Y ステージによる自動測定システムを結合することにより、ミクロンオーダーのマッピングを可能とする。

(2)SiC における過剰キャリアライフタイムマップと結晶欠陥分布との対応を取るため、

SiC の過剰キャリアライフタイム制限因子を解明する。p 型 4H-SiC バルク結晶およびエピ膜を入手し、その過剰キャリアライフタイムを制限している要因を解明する。また、低速電子線照射を用い意図的に炭素のみを弾き飛ばすことにより、炭素に関連した結晶欠陥を導入し、その過剰キャリアライフタイムへの影響を調査する。

(3)以上 2 項目の取り組みを結合することで SiC におけるデバイス性能に直結するパラメーターである過剰キャリアライフタイムと結晶欠陥との相関性を把握する。

## 4. 研究成果

(1)ミクロンオーダーの面分解能を持つ新規過剰キャリアライフタイムマッピングシステムの開発においてマッピング用に X-Y ステージを導入し、さらには過剰キャリア信号を検出するオシロスコープと連動させ自動測定を行うソフトウェアを開発した。このソフトウェアにより 2 次元的な過剰キャリアライフタイムマップの取得が可能となった。また、キャリアを励起するレーザーを顕微鏡によりミクロンオーダーまで集光可能とすることで、観測領域をミクロンオーダーまで縮小した。さらには、マイクロ波による励起キャリア検出部分を針状にすることで検出感度を向上させた。それらを組み合わせて完成させたミクロンオーダー過剰キャリアライフタイムマッピングシステムの模式図を図 1 に示す。作製されたマッピングシステムを用いることで、図 2 に示すように従来の半導体材料であるシリコンの過剰キャリアライフタイムマッピングに成功した。しかしながら、目標である SiC のマッピングには信号雑音比の問題により未だ成功していない。よって、研究期間終了後も改善の努力を続ける必要がある。

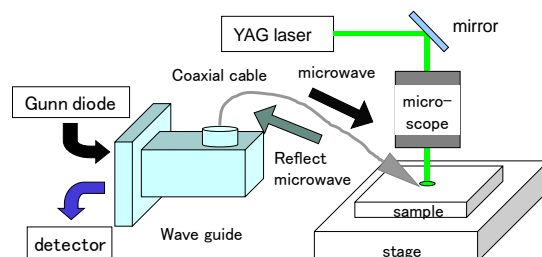


図 1. ミクロンオーダー過剰キャリアライフタイムマッピングシステムの模式図

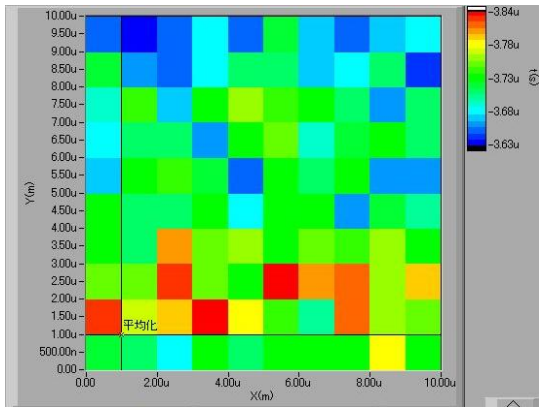


図2. 作製したマッピングシステムにより測定したシリコンの過剰キャリアライフタイムマップ、赤～青色で過剰キャリアライフタイムの長短を表現している。位置分解能は1ミクロンである。

(2)p型4H-SiC基板を準備し従来の過剰キャリアライフタイム測定装置を用いて、SiCにおける過剰キャリアライフタイム制限因子を調査した。その結果、p型4H-SiCのバルク結晶においては過剰キャリアライフタイムの分布がミリメートルオーダーで存在することがわかり、構造欠陥がその原因であることが予想された。さらにバルク結晶の過剰キャリア減衰曲線には長い時定数成分が存在し、バンドギャップ中の深い準位がキャリアをトラップしていることが示唆された。

(3)p型4H-SiCエピ膜に対しても過剰キャリアライフタイムを行った。図3に示すようにそのキャリアライフタイムはバルク結晶のものよりも長く、エピ膜中にはバルク結晶よりも再結合中心となる結晶欠陥が少ないことが確認された。

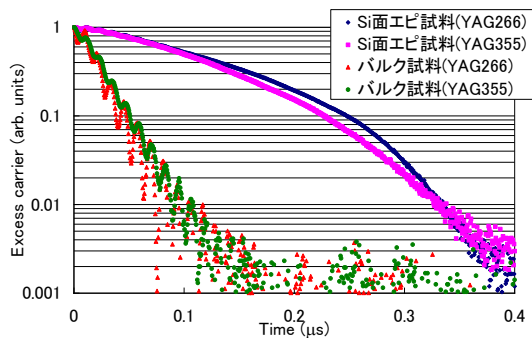


図3. p型4H-SiCバルク結晶およびp型4H-SiCエピ膜(Si面)における過剰キャリア減衰曲線。2種類の励起レーザー(波長266nmおよび355nm)により測定。

(4) また、p型4H-SiCエピ膜に電子線照射により意図的に欠陥を形成し、様々な欠陥濃度を有する試料を作成し過剰キャリア減衰曲線の欠陥濃度依存性を調査した。その結果、照射後のエピ膜においては過剰キャリアライフタイムが短くなり、電子線により形成される炭素空孔・格子間炭素などの真性欠陥が再結合中心となることが判明した。過剰キャリアライフタイムをピークから1/eまで信号強度が減少した時間と定義すると、図4に示すように未照射のエピ膜においては0.1μ秒のオーダーであるが、図5に示すように電子線照射を施したエピ膜では過剰キャリアライフタイムは0.03μ秒程度である。また、図4の減衰曲線は上に凸の形をしており、励起キャリア濃度の減少とともに減衰が速くなっていった。一方、図5に示すように電子線照射を行ったエピ膜における過剰キャリア減衰曲線は指数関数的に減衰しており、励起キャリア濃度に対する依存性は存在していなかった。つまり、電子線照射を行ったエピ膜では未照射の物とは異なる再結合中心が支配的だと考えられる。よって、電子線照射によって導入される炭素に関連する欠陥は、未照射のエピ膜においては再結合に対して支配的ではなく、他の種類の結晶欠陥が再結合を支配していることが示唆された。

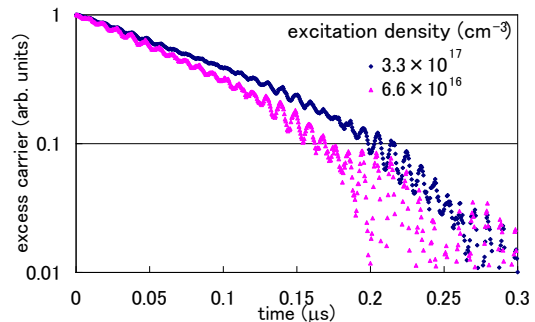


図4. 電子線未照射のp型4H-SiCエピ膜における過剰キャリア減衰曲線。波長266nmのレーザーの強度を2種類用いて励起キャリア濃度を変化させている。

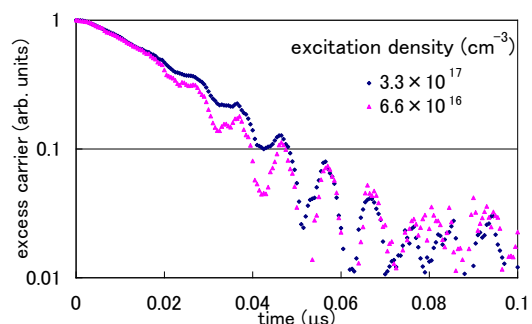


図5. 電子線照射を施したp型4H-SiCエピ膜における過剰キャリア減衰曲線。励起強度は波長266nmのレーザー強度の変化により。

(5)さらに、電子線照射によって形成された再結合中心として働く炭素に関連する欠陥は 1000°Cのアニールによってある程度消滅することがわかった。この結果は、欠陥を形成させることでキャリアライフタイムコントロールを行う場合、その後の工程のアニール条件に注意する必要があることを示している。

(6)これらの実験結果により、p 型 4H-SiC の過剰キャリアライフタイムに影響を与える結晶欠陥として炭素空孔・格子間原子が一候補として考えられ、SiC デバイスを作製する上で炭素関連欠陥の濃度に注意をすることが示唆された。今後の展望として過剰キャリアライフタイムマッピング装置の改善により結晶欠陥の分布と過剰キャリアライフタイムとの相関を明確にし、デバイス性能改善への指針となる情報を得ていく予定である。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① Yoshinori MATSUSHITA, Masashi KATO, Masaya ICHIMURA, Tomoaki HATAYAMA and Takeshi OHSHIMA, “Characterization of the excess carrier lifetime of as-grown and electron irradiated epitaxial p-type 4H-SiC layers by the microwave photoconductivity decay method” Materials Science Forum, 査読有, Vol.645-648, 2010, pp.207-210
- ② 松下由憲, 加藤正史, 市村正也, 畑山智亮, 大島武 “マイクロ波光導電減衰法による p 型 4H-SiC エピタキシャル膜の評価”信学技報、査読無、Vol. 108-34、2008、pp. 95-100
- ③ Masashi Kato, Masahiko Kawai, Tatsuhiro Mori, Masaya Ichimura, Shingo Sumie, and Hidehisa Hashizume, ” Excess Carrier Lifetime in a Bulk p-type 4H-SiC Wafer Measured by the Microwave Photoconductivity Decay Method” Japanese Journal of Applied Physics、査読有、Vol. 46、2007、pp. 5057-5061

[学会発表] (計 7 件)

- ① 加藤正史, 松下由憲, 市村正也, 畑山智亮, 大島武 “電子線照射を施した p 型 4H-SiC エピ膜における熱処理後の過剰キャリアライフタイム” 2010 年春季第 57 回応用物理学関連連合講演会、2010 年 3 月 18 日、東

海大学

- ② Yoshinori MATSUSHITA, Masashi KATO, Masaya ICHIMURA, “CHARACTERIZATION OF P-TYPE 4H-SiC EPILAYERS BY THE MICROWAVE PHOTOCONDUCTIVITY DECAY METHOD” 14th National Seminar on Crystal Growth、2010 年 3 月 11 日、インド、ペロール
- ③ Yoshinori MATSUSHITA, Masashi KATO, Masaya ICHIMURA, Tomoaki HATAYAMA and Takeshi OHSHIMA, ” Characterization of the excess carrier lifetime of as-grown and electron irradiated epitaxial p-type 4H-SiC layers by the microwave photoconductivity decay method” International Conference on Silicon Carbide and Related Materials 2009、2009 年 10 月 12 日、ドイツ、ニュルンベルク
- ④ 松下由憲, 加藤正史, 市村正也, 畑山智亮, 大島武 “P 型 4H-SiC エピタキシャル膜の過剰キャリア減衰曲線の解析” SiC 及び関連ワイドギャップ半導体研究会第 17 回講演会、2008 年 12 月 8 日、大田区産業プラザ
- ⑤ 松下由憲, 加藤正史, 市村正也, 畑山智亮, 大島武、“様々な欠陥濃度を有する p 型 4H-SiC エピタキシャル膜の過剰キャリア減衰曲線の評価” 第 69 回応用物理学学会学術講演会、2008 年 9 月 2 日、中部大学
- ⑥ 松下由憲, 加藤正史, 市村正也, 畑山智亮, 大島武、“マイクロ波光導電減衰法による p 型 4H-SiC エピタキシャル膜の評価” 電子情報通信学会 ED2008、2008 年 5 月 16 日、名古屋工業大学
- ⑦ 松下由憲, 加藤正史, 市村正也, 畑山智亮 “p 型 4H-SiC エピタキシャル膜の過剰キャリア減衰曲線の評価” SiC 及び関連ワイドギャップ半導体研究会 第 16 回講演会、平成 19 年 11 月 29 日、愛知県女性総合センター

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

加藤 正史 (KATO MASASHI)  
名古屋工業大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：80362317