

ワイドギャップ半導体 SiC のキャリア緩和のフェムト秒分光 による研究

(関学大・理工) ○玉井尚登, 水本幸太郎, 北田知己, 王 莉, 鳥見 聡,
松田一宏, 金子忠昭

【序論】 SiC はワイドバンドギャップの間接遷移型のバンド構造を持つ IV-IV 族化合物半導体である。常圧では液相が存在せず、およそ 2000～2200℃以上の高温で昇華するという熱的安定性に加えて、化学的・機械的安定性を有する材料である。Si よりバンドギャップ、絶縁破壊電圧、耐熱性などの大きい半導体で半導体素子を作ろうという試みがなされている現状において、SiC は高絶縁破壊電界、高飽和電子速度、高熱伝導度などの優れた物性を持ち、*p* 型、*n* 型の価電子制御が容易な半導体であるので、近年多くの注目を浴びる様になった。特に厳しい環境において動作可能な高耐圧、高耐熱、高速用パワーデバイスへの応用が期待されている。結晶学的には、SiC は同一の組成で *c* 軸方向に対して多様な積層構造をとる結晶多形（ポリタイプ）を示し、約 200 種類が確認されている。現実的には、6H-SiC と 3C-SiC が主流であるが、現在最もデバイス応用に適していると考えられている 4H-SiC も重要である。しかしながら、SiC の光物性、特に励起状態ダイナミクスに関しては報告例が極めて少ない。本研究では、幾つかの温度（高温）で 4H-SiC をアニールして熱処理効果によって表面状態だけでなく光物性がどのように変化するか、フェムト秒過渡吸収分光によって解析した。さらに、4H-SiC だけでなく 6H-SiC と 3C-SiC についてもレーザー分光による解析を行い 4H-SiC と比較したので報告する。

【実験】 SiC 結晶の表面形状制御方法として高温真空アニール法を用いた。SiC を高温にすると昇華が始まり、Si の昇華量の方が多いため表面に炭素が残り、炭化した状態となる。従って表面が荒れてしまうだけでなく黒く変色する。このような表面荒れを防ぐために、Si 雰囲気を用いて単結晶アニールを試みた。4H-SiC のアニール温度は、1000℃から 1900℃まで変化させた。AFM 測定により、各々の試料の表面構造の熱処理依存性を解析した。また 6H-SiC と 3C-SiC に関しては、未処理のものを用いた。フェムト秒過渡吸収測定は、増幅したフェムト秒

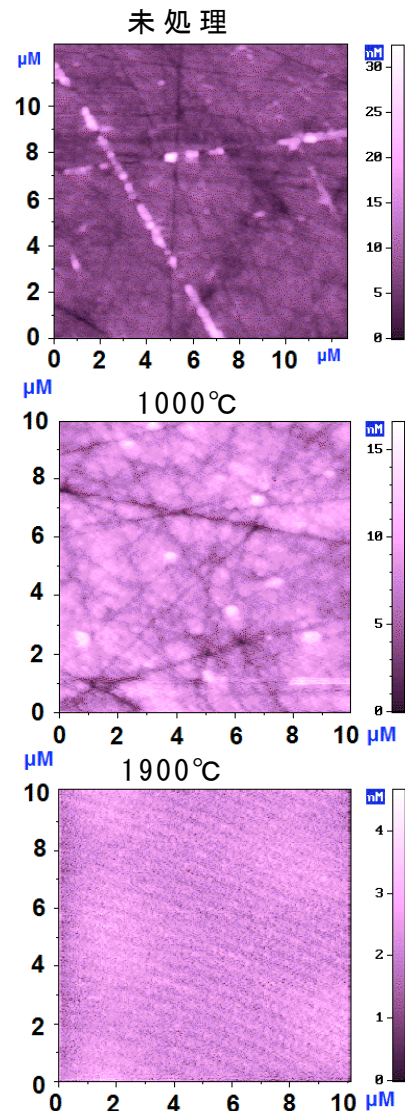


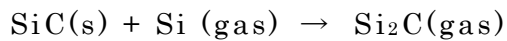
図1 4H-SiC の表面状態の熱処理温度依存性

Ti:Sapphire レーザーの第三高調波(266nm)をポンプ光とし、フェムト秒白色光をプローブ光として過渡吸収スペクトルを測定した。

【結果・考察】SiCはダイヤモンドに次ぐ硬度を持っており、これまでダイヤモンド砥粒を用いて表面を研磨する方法が用いられてきた。この為、表面に研磨傷が残ってしまうので、エピタキシャル結晶成長や品質向上の為には研磨ダメージを除去しなければならない。

図1に特殊な炉を用いて種々の温度で4H-SiCをSi雰囲気下でアニールした場合のAFMによる表面構造の観察結果を示す。1000℃程度までは表面に大きな変化はなく

研磨傷が残っているのがわかる。1400℃付近から変化が起ころはじめ、1900℃では表面に細かいステップが形成されているのがわかる。Si雰囲気下では、炭化が全く起こらず表面に余分なC原子が残っていないので、



の反応によりSiC基板からSiとCが1:1で離脱した為と考えられる。

図2に4H-SiCの吸収スペクトルを示す。4H-SiCのバンドギャップ3.3eVに対応したスペクトルが観測されると共に470nmにピークを持つバンドが観測される。このバンドは、積層内に存在する窒素が原因であると言われている。

このバンドのアニール温度依存性を調べたが、1900℃においても熱処理していない4H-SiCの吸収と殆どかわらず、積層内の窒素は高温でも離脱しないことがわかった。一方、4H-SiCの発光は極めて弱く、単一光子法を用いても検出することが出来なかった。図3に4H-SiCの266nm励起による過渡吸収スペクトルを示す。時間の初期に非常にブロードなブリーチングが観測された。その後、緩和時間が長くシャープなブリーチングが吸収に対応する470nm付近で観測された。この窒素に由来するブリーチングダイナミクスは、2つの指数関数の和で解析でき、長い寿命成分は1.6~1.7nsの寿命を持っている。この寿命成分は、熱処理温度に殆ど依存しない。一方、短寿命成分は未処理のものが40ps、高温で熱処理したものが100ps以上であり、短寿命成分の振幅も高温になるにつれ小さくなる。この結果から、熱処理により表面構造を変えると、窒素以外の不純物準位などの欠陥がより少なくなったものと考えられる。他の波長領域では、100fs以内の極めて早い緩和が観測されており、6H-SiCや3C-SiCの過渡吸収ダイナミクスの結果も合わせてSiCのキャリア緩和の詳細を報告する。

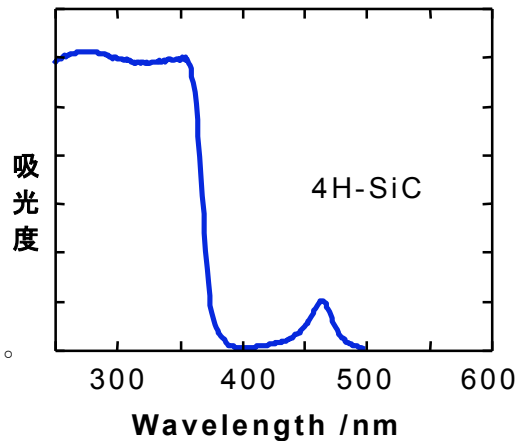


図2 4H-SiCの吸収スペクトル

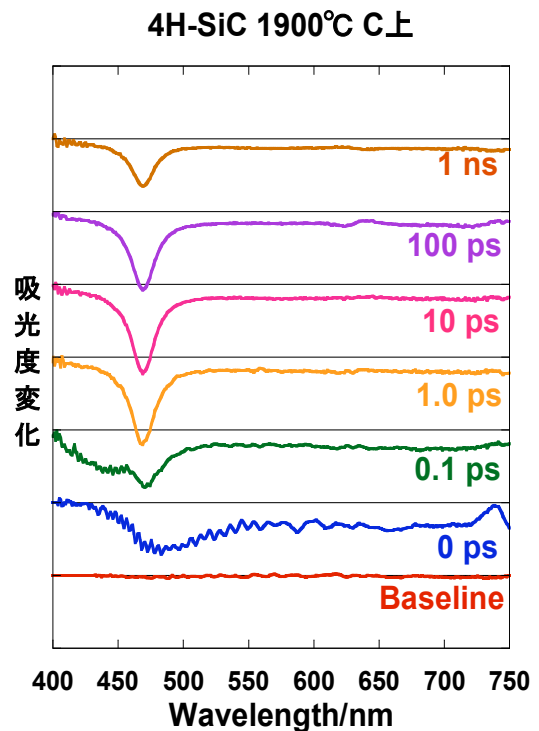


図3 4H-SiCの過渡吸収スペクトル