

4H-SiC 中の転位のフォトルミネッセンス解析

平成 24 年度

平野 梨伊

主 論 文 要 旨

報告番号	① 乙 第	号	氏 名	平野 梨伊
主 論 文 題 目： 4H-SiC 中の転位のフォトルミネッセンス解析				
(内容の要旨) 4H-シリコンカーバイド(4H-SiC)半導体により、現在のシリコンよりも高耐圧かつ高効率を有するパワーデバイスが実現できると期待されている。しかし、4H-SiC バイポーラ型パワーデバイスに順方向バイアスを印加すると積層欠陥が拡大し、電流特性が劣化することが実用化を阻んでいる。ここでの拡大は、積層欠陥の端を定義する 30°-Si(g)部分転位のすべり運動に起因する事が知られている。この転位すべり運動は光照射や電子線照射等の励起によっても観測される現象で radiation-enhanced dislocation glide(REDG)と呼ばれている。REDG は 4H-SiC 以外にもシリコン、ガリウム砒素等の様々な物質で観測されているが、その機構の詳細は未解明である。そこで、本研究ではフォトルミネッセンス法を用いて、光照射によって促進される 4H-SiC 中の転位すべり運動機構を解明し、電流注入によるすべり運動との関係を議論し、さらに転位からの発光の偏光特性を明らかにした。 本論文の第 1 章は導入で、4H-SiC を用いたパワーデバイスの有用性と実用化への課題について述べる。第 2 章では 4H-SiC 半導体の特徴と其中の欠陥の挙動を概観し、第 3 章では主たる実験方法であるフォトルミネッセンスの原理と実験系の概要を記述する。第 4 章では 30°-Si(g) 部分転位の REDG に関する実験を紹介し、部分転位すべり運動速度の測定とその解析結果を示す。一般的に転位すべり運動は、せん断応力と、電子-正孔対の再結合により生じる余剰エネルギーが要因となり誘起されると考えられてきた。ここで、光ではせん断応力を印加できないため、光照射強度と共に増加する電子-正孔対の再結合が REDG の主要因であり、転位すべり運動速度は光照射強度に対して線形に増加することが 4H-SiC 以外の系で報告されてきた。しかし、本章の実験では、4H-SiC の 30°-Si(g)部分転位すべり運動速度が光照射強度の 2 乗に比例することを見出し、積層欠陥が電子-正孔対を捕獲することによる積層欠陥形成エネルギーの低下が実効的にせん断応力として働くモデルによって今回の結果は説明される。第 5 章では、30°-Si(g)部分転位の REDG に対して、光励起されたキャリア密度と光照射強度の影響を定量的に比較し、30°-Si(g)部分転位すべり運動の促進は光照射強度によって支配されていることを明らかにした。この事実は従来から広く考えられてきた電子-正孔対の非放射再結合による転位すべり運動の促進が 4H-SiC 中のすべり運動の促進を説明できないことを意味する。さらに転位の光イオン化によってすべり運動の障壁が下がることがすべり運動促進につながったことを示唆する。よって光照射を伴わない実際のパワーデバイス動作、すなわち電流注入におけるすべり運動促進においても同様の要因を考慮する必要があることを提案する。第 6 章では 4H-SiC 中の転移上の発光が特定の偏光を有することを見出した実験を紹介する。光照射によりすべり運動する 30°-Si(g)部分転位とバーガースベクトルから 6°傾いた部分転位上の発光は転位線に対して垂直に偏光していることに対し、すべり運動を起こさない 30°-C(g)部分転位は偏光していないことを明らかにした。ここから 30°-Si(g)と 6°-部分転位に束縛されたキャリアの波動関数は異方性を有し、30°-C(g)部分転位に束縛された波動関数は等方的であることが分かる。第 7 章では結論と展望を述べる。 4H-SiC を用いたバイポーラパワーデバイスの実用化のためには転位すべり運動を抑制し積層欠陥の拡大を防ぐことが必要である。よって、光をプローブとして転位すべり運動の本質を明らかにした本研究が、転位すべり運動を抑制するための技術開発に寄与することが期待される。				

SUMMARY OF Ph.D. DISSERTATION

School School of Fundamental Science and Technology	Student Identification Number 81045114	SURNAME, First name HIRANO, Rii
Title Photoluminescence analysis of dislocations in 4H-SiC		
Abstract <p>4H-SiC is a promising semiconductor material for highly efficient power device fabrication. However, the commercialization of 4H-SiC bipolar power devices has been hindered by the degradation of current characteristic caused by the expansion of Shockley stacking faults (SSF) under forward biasing of the devices. The expansion of these SSFs is caused by the glide of the 30°-Si partial dislocations (PDs) bounding the SSFs. The PD glide is not induced only under the forward biasing, but also under the irradiation of light as referred to as a radiation-enhanced dislocation glide (REDG). REDG is also observed in many other materials such as Si and GaAs, but its fundamental mechanism is not clear. Therefore, we have investigated the PD glide under the light irradiation by photoluminescence experiments.</p> <p>Chapter 1 of this thesis is the introduction. Chapter 2 describes general characteristics of 4H-SiC and its defects. Chapter 3 presents principles and experimental configurations of photoluminescence systems employed in this study. Chapter 4 shows a series of experiments, which leads to conclusions that REDG, i. e., the PD glide velocity is proportional to the square of the optical excitation intensity in 4H-SiC. These results were explained by the reduction of the effective formation energy of the SSF by trapping electron-hole pairs by SSFs. Chapter 5 shows further that the enhancement rate of the PD glide is governed directly by the light intensity, not by the photogenerated carriers. This fact indicates that the glide enhancement in 4H-SiC cannot be explained by the widely speculated mechanism that the energy released by the recombination of electron-hole pairs is utilized to assist the PD glide. Here the photoionization of PD is proposed to be the main cause of the glide enhancement. Chapter 6 shows the experimental finding that the photoluminescence from the mobile PDs under optical excitation is polarized in the direction perpendicular to their dislocation lines. In contrast, the PL from the immobile PDs is not polarized. The symmetry of wavefunctions of carriers trapped around PDs is discussed.</p> <p>The suppression of the SSF expansion under the current injection is necessary for the commercialization of 4H-SiC bipolar power devices. The findings described in this thesis are expected to shed light on research activities to achieve suppression of the SSF expansion in 4H-SiC bipolar power devices.</p>		