

窒化物半導体における電子 - フォノン相互作用と結晶性

Electron-phonon interaction and crystal quality of III-nitride semiconductors

千葉大工 石谷善博、馬 ベイ、大木健輔、坂本裕則、森田 健

Chiba Univ., ^oY. Ishitani, B. Ma, K. Oki, H. Sakamoto, K. Morita

E-mail: ishitani@faculty.chiba-u.jp

近年窒化物半導体の結晶性が向上し、FET の高性能化、発光デバイスの短波長化が進んでいる。特に貫通転位の低減により点欠陥による電子散乱や非輻射再結合過程が解明されつつある。一方で、結晶性の向上により、深い準位を介した電子遷移・電子捕獲過程や励起子過程などに関して多くの本質的物性が浮き彫りになってきている。また、物性評価においても実験装置の進歩や解析手法の進歩により、深い準位による電子捕獲・再結合過程や電子・正孔再結合過程の解明が進展した。しかし、FET のチャンネルにおける高速な電子走行や発光素子の電子・正孔再結合が起こっている場所では高速な電子 - フォノン系の相互作用が電子移動度や励起子ポピュレーションの寿命を変化させる。フォノンと電子系との相互作用は古くから研究されているが、励起空間のエネルギーダイナミクスの観点での研究は多くはない。応用物理学会においても 2016 年秋季講演会からフォノンのセッションが開始されたばかりであり、フォノンとの相互作用を含めたキャリアダイナミクスおよびそのダイナミクスを特徴づける欠陥場の構造解析に関する研究は初期的段階にあると思われる。図 1 に様々な半導体の LO フォノンエネルギーと高周波および静的誘電率の逆数差（ $1/\epsilon(\infty) - 1/\epsilon(0)$ ）を示す。この逆数差は電子-フォノン相互作用ハミルトニアンに含まれる量であり、電子-フォノン相互作用強度を示す。この図からわかるように、窒化物半導体の強い相互作用は顕著である。本講演では、フォノンとキャリアとの相互作用が光学測定によりどのように評価されるかについて赤外分光およびラマン分光を中心に示し、GaN を中心とする深い準位に関する電子遷移過程について、これまでの様々な研究結果を参照しつつ、我々の研究室で行われてきた結果について示す。

赤外分光では、偏光制御により貫通転位が電子プラズマ振動の散乱特性の異方性について、ラマン分光では結晶欠陥と熱生成の状態についてどのように評価されるかを主に示し、最近進めている赤外分光による界面フォノンポラリトンを用いた評価方法に言及する。これらについては、

InN、GaN、AlN の 2 元結晶を取り上げ、GaAs などとも比較して、窒化物系における強い電子 - フォノン相互作用についても紹介する。深い準位については、InN および GaN を取り上げて、配位座標モデルによける電子・正孔励起状態から深い準位への遷移や深い準位から基底状態への遷移に関する活性エネルギーおよび遷移速度の見積もりについて、p 型結晶と n 型結晶を使い分けることによる解析を示し、特に n 型結晶では見えない早い電子遷移過程について紹介する。

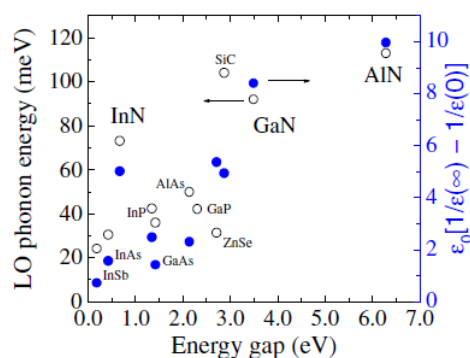


図 1 フォノンエネルギーと電子 - フォノン相互作用強度