

修士論文審査要旨

主査 徳永英司

副査 石井行弘

副査 大川和宏

論文提出者 物理学専攻 氏名 佐藤尚人

論文題目 赤外自由電子レーザー励起による ZnSe バンド端発光

再生増幅フェムト秒レーザーによる THz 波発生

要旨

自由電子レーザー (Free Electron Laser :FEL) は、加速電子からの放射を利用しているため直接中赤外レーザー光を発振でき、かつ広範囲 (5 ~ 16 μm) で波長が連続的に可変である。フェムト秒レーザーベースの中赤外光源と比べて、同じくらいの高尖端出力を持ちながら、特定のモードの格子振動を選択的に励起できるだけの狭い線幅を持つのが特長である。つまり FEL は、中赤外域で波長可変なコヒーレント格子振動の励起光源であるという特長と、 10^8 - 10^9 V/m の高周波電場が得られる高出力光源であるという特長を合わせ持つ。このことから有機分子や固体結晶に容易に非線形光学効果を誘起できると考えられる。特に、コヒーレント格子振動と共鳴した新たな種類の非線形光学効果の発現可能性があり興味深い。

以前に当研究室で 8-10 μm の赤外 FEL 励起によるノドープの ZnSe 結晶の可視バンド端発光を観測している。その起源について光電場によって加速された電子の衝突電離による雪崩的な電子正孔対の生成によると結論したが、なぜ発光強度が励起光強度の 70 乗にも比例するのか、光電場の大きさは妥当か、プラズマ発光を伴う破壊発光との関係はなにか、など未解明の部分が多かった。本論文ではこれらについて詳細かつ豊富な実験データを積み重ね、発光メカニズムを定量的に明らかにした。まず発光の時間分解測定を行い、発光時間波形は FEL パルスにまったく追従せず、パルスが最大強度になる瞬間のみに鋭く立ち上がることを発見した。見掛けの発光の減衰時間は、固有の発光寿命 3ns と比べて 70ns と長い。論文提出者は発光過程について詳細な理論モデルを立てて simulation を行い、発光の時間構造を高い精度で再現した。FEL はピコ秒のマイクロパルスが GHz で繰り返してマイクロ秒のマクロパルスを形成しているが、simulation によると、1つのマイクロパルスの照射下で 1 電子が 1.1 個の電子に増幅される程度の増倍率に達したとき、発光が鋭く立ち上がり励起光強度依存性が 100 乗近くになることがわかった。発光モデルを補強する実験として、光照射下における FEL 励起可視発光強度の増強も確認している。破壊発光についても発光スペクトルが違う弱い破壊発光と強い破壊発光があることを明らかにし、後者では励起 FEL 光の吸収が急激に増え、30% も吸収されることを実験で確かめた。実験から見積もられる光電場による ponderomotive potential (自由電子が交流電場による加速で得る運動エネルギーのサイクル平均) は最大でも 0.2eV 程度で、可視発光のエネルギー 2.6eV に比べて桁違いに小さい。にも関わらず有効な電子加速が起こるのは、フォノン散乱によって光電場方向の速度が頻繁に 0 近くにリセットされ、正の仕事を受け続けることができると、キャリア間のクーロン散乱によりエネルギー分布が広がり、高エネルギー端が発生するためである。前者のメカニズムについても simulation で確認している。

論文提出者は FEL 実験だけでなく、大口径光伝導アンテナを工夫して、再生増幅フェムト秒レーザーによる THz 波発生の実験も行い、現在の実験系の問題点を明らかにしている。

以上のように、論文提出者は高い実験技術と解析能力で、中赤外光励起による半導体可視発光の振る舞いを高い精度で定量的に説明することに成功している。従って、修士論文として価値があると認める。