

## 第6章 総括

本研究では、フェムト秒パルスレーザー光を光源とした反射型ポンプ・プローブ分光法という超高速分光技術を用いて、半導体中のさまざまなコヒーレントフォノンと光生成キャリアの空間分布との関係を調べた。特に、半導体超格子におけるコヒーレント折返し縦音響(FLA)フォノン、縦光学(LO)フォノンおよびキャリアの集団運動であるプラズマ振動と結合したLOフォノンを対象に研究を行なった。以下に、その成果をまとめる。

(1) GaAs/AlAs 超格子におけるコヒーレント FLA フォノンに対する有限サイズ効果に対する研究を行った。周期数の限られた超格子では、ラマン散乱選択則で本来禁制であるゾーンセンターの  $B_2$  モードが観測された。これは、超格子層の有限性が対称性の破れを引き起こすことに起因すると結論した。さらに、検出過程における波数保存則の破綻により、FLA フォノンの時間分解反射率変化に対して自由誘導減衰過程が働くことを明らかにした。以上の結果は、周期数の限られた超格子におけるコヒーレントFLAフォノンが有限サイズ効果の影響を受けること明確に示している。さらに、超格子層全体を光励起するか表面層のみを光励起するかによって、コヒーレントフォノンの伝播過程の違いを反映し、観測されるフォノンモードの特性が異なることを見出した。このことは、コヒーレントFLAフォノンという超格子全体に展開するモードの特性がキャリアの空間的な広がりによって決定されることを示している。

(2) GaSb/AlSb 超格子におけるコヒーレント LO フォノンの生成機構に対する研究を行った。本研究で、レーザーパルス光に対して不透明な量子井戸層中のコヒーレント GaSb 型 LO フォノンとレーザーパルス光に対して透明な障壁層中のコヒーレント AlSb 型 LO フォノンとの同時観測に初めて成功した。そして超格子における LO フォノンの寿命が、超格子構造特有のミニブリルアンゾーンの形成により、バルク結晶中の LO フォノンの寿命より長くなることを見出した。さらに、Cole-Cole プロットを用いてコヒーレントフォノンの初期位相を解析することにより、GaSb 型 LO フォノンと AlSb 型 LO フォノンは、それぞれ cosine 型および sine 型の振動プロファイルを示すことが判明した。この結果を基にして、GaSb 型 LO フォノンは DECP 機構によって、一方 AlSb 型 LO フォノンは ISRS 機構によって生成されるということを示している。

明らかにした。このことは、井戸層に局在したコヒーレント LO フォノンの生成機構と障壁層に局在したコヒーレント LO フォノンの生成機構とが異なっていることを明確に示している。それゆえ、光生成キャリアとフォノンとが空間的に分離されている場合、コヒーレントフォノンは光生成キャリアの影響を受けないと考えられる。

(3) InAs/GaAs 歪超格子におけるコヒーレント LO フォノン・プラズモン結合モードに対する研究を行った。超格子の基礎遷移エネルギー近傍にレーザーパルス光のエネルギーを合わせることにより、障壁層である GaAs 層内の GaAs 型 LO フォノンと結合したプラズモンを観測した。このことは、電子包絡波動関数が超格子全体に展開している場合、障壁層中の LO フォノンが電子プラズマ振動との間で結合モードを形成するというを示している。さらに GaAs 型 LO フォノン・プラズモン結合モードの検出エネルギー依存性の測定結果から、検出過程において、超格子特有のミニバンド構造に起因する共鳴効果が顕著に現れることを明らかにした。

以上の結果から、コヒーレントフォノンの特性がフォノン自体の空間的な広がりだけでなくキャリアの空間的な広がりにも依存すると結論することができる。

最後に、半導体超格子におけるコヒーレントフォノンに対する研究の今後の展望について述べる。本研究では、全て外部から電場などの摂動を加えないという条件下でコヒーレントフォノンの測定を行った。超格子におけるコヒーレントフォノンの電場下での振る舞いに関しては、これまで piezoelectric field という内部電場を有する InGaN/GaN 超格子に対する研究報告 [39,40]がある。しかし、この piezoelectric field を制御してコヒーレントフォノンの振る舞いがどのように変化するか調べた例は、これまで報告されていない。こうしたことから、超格子におけるコヒーレントフォノンの電場依存性は、未解明であると思われる。超格子における THz 振動数領域の現象としては、他にもプロッホ振動 [78]などがある。プロッホ振動とは、電場印加下での超格子内における電子波束の振動に起因する現象である。このプロッホ振動とコヒーレントフォノンとの相互作用に関する研究は、まだ開始されたばかりである [79,80]。こうした研究を行うことにより、電場下でのキャリアとフォノンとの動的な相互作用を明らかにすることが期待できる。それゆえ、電場下でのコヒーレントフォノンに対する研究は興味深いと思われる。