



Title	フェムト秒時間領域におけるコヒーレントフォノンの発生と制御
Author(s)	長谷, 宗明
Citation	大阪大学, 1998, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3151062
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	長 谷 宗 明
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 4 1 5 6 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 10 年 9 月 30 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科 応用物理学専攻
学 位 論 文 名	フェムト秒時間領域におけるコヒーレントフォノンの発生と制御
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 中 島 信 一 (副査) 教 授 増 原 宏 教 授 伊 東 一 良 教 授 豊 田 順 一 教 授 萩 行 正 憲 助 教 授 播 磨 弘

論 文 内 容 の 要 旨

本研究は、ポンプ-プローブ法による時間分解反射率測定から、半導体及び半金属中に発生する位相の揃った原子の集団振動（コヒーレントフォノン）のダイナミックスを解明し、さらにコヒーレントフォノンの振幅を制御することを目的として行なわれたものである。そのために、時間幅が20フェムト秒のパルスレーザーを光源とした時間分解反射率測定システムを構築し、マイケルソン干渉計あるいは空間光変調素子を用いたパルス列発生システムを試作している。

緒論では、本研究の背景と目的について述べ、本研究の位置づけを行っている。

第1章では、超短光パルスの照射によって物質中に誘起される光学的・物理的現象について概説し、またコヒーレントフォノンの発生メカニズムと測定原理について述べている。

第2章では、現在までに実験的に明らかにされている半金属、半導体における電子系及び格子系の超高速ダイナミックスについて概説している。

第3章では、超短光パルス（フェムト秒パルス）の発生技術と、それを用いた時間領域分光法の原理、及び第二高調波発生を用いたパルス幅の測定法について述べている。さらに、フォノンを選択励起するための THz (10^{12} Hz) の繰り返し周期をもつパルス列発生法の原理について述べている。

第4章では、半金属 (Bi, Sb, 及び Bi-Sb 混晶) 中に発生したコヒーレントフォノンの測定結果について述べている。最初にコヒーレントフォノンの振幅の励起光強度依存性、温度依存性、及び位相の精密測定について実験結果を示し、次に第1章で述べている理論と比較している。

また Bi 試料については、ラマン散乱測定と時間領域分光測定の結果の比較から、コヒーレントフォノンの緩和過程について議論している。

第5章では、半導体 (GaAs) における LO フォノン-プラズモン結合モードのダイナミックスについて述べている。本研究では、結合モードに対応するコヒーレント振動の時間変化を時間分割フーリエ解析によって調べ、結合モードの緩和過程を明らかにしている。

第6章では、コヒーレントフォノンの可干渉性をダブルパルス励起によって調べている。種々の時間間隔を持つダブルパルスによって、二組のコヒーレントフォノンを発生させると、時間領域で干渉することを明らかにしている。

第7章では、光パルス列を用いてフォノンの選択励起を試みている。その結果、複数のフォノンモードが存在するBi-Sb混晶系において、特定のコヒーレントフォノンの選択励起が可能であることを明らかにしている。

第8章では、本研究で得られた成果をまとめ、今後の課題について述べている。

論文審査の結果の要旨

フェムト秒パルスレーザー照射によって固体中に位相の揃った原子の集団振動（コヒーレントフォノン）が発生することが最近報告された。しかし、このコヒーレントフォノンの動的性質は全く解明されておらず、またレーザーパルスによるその振幅制御が可能かどうかは未知である。本研究では、20フェムト秒のパルス幅を持つレーザーを光源とした時間領域分光測定システムを開発し、コヒーレントフォノン発生、検出、制御などの一連の実験を行っている。特に独創的な点は、パルス列を発生させ、それらを励起光として用い、フォノンの振幅の制御や選択励起を試みていることである。研究の成果を要約すると以下の通りである。

(1) 20フェムト秒の時間幅を持つ超短パルスレーザーを光源とした時間分解反射率測定システムを開発し、その測定可能な反射率変化として $\Delta R/R=10^{-6}$ まで得ることを可能にしている。

(2) 開発した時間分解反射率測定システムを用いて、半金属 (Bi, Sb, 及び Bi-Sb 混晶) におけるコヒーレントフォノン信号を観測し、フォノンの初期位相を精密に測定している。また、Bi 試料についてはラマン散乱測定も行い、そのスペクトル幅から求められるフォノンの減衰定数と、コヒーレントフォノン信号から得られるフォノンの減衰定数を比較し、コヒーレントフォノンの緩和過程を明らかにしている。

(3) 半導体の GaAs におけるコヒーレントフォノン信号を観測し、その結果、LO (縦波光学) フォノン-プラズモン結合モードの上の分枝と下の分枝の両方のモードの検出に成功している。また、時間分割フーリエ変換法を新しく提案し、これによって得られた時間分解スペクトルから結合モードの減衰時間を見積り、結合モードの緩和過程について言及している。

(4) コヒーレントフォノンの可干渉性を実験的に調べるため、マイケルソン干渉光学系を用いてダブルパルス励起光を作り、干渉実験を行っている。その結果、ダブルパルスの時間間隔を変えて発生させた2組のコヒーレントフォノンが、時間領域で干渉することを確かめている。

(5) 液晶空間光変調素子を用いてレーザーパルスに位相変調を与え、フェムト秒の任意の時間間隔をもつパルス列を発生させることに成功している。さらにこのパルス列を励起光とし、複数のフォノンモードが存在する Bi-Sb 混晶系において、特定のコヒーレントフォノンの選択励起が可能であることを明らかにしている。この結果、光パルスによるコヒーレントフォノンの制御が可能であることを実証している。

以上のように、本論文ではフェムト秒パルスレーザーを用いたポンプ-プローブ法による時間分解反射率測定を行い、半導体、半金属中に生成した位相の揃った原子の集団振動（コヒーレントフォノン）のダイナミクスを明らかにすると共に、コヒーレントフォノンの振幅が制御できることを実験的に初めて示したものである。その成果は、応用物理学、特に物性物理学の発展に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。