



Title	フェムト秒時間分解光電子分光法による半導体における励起電子の超高速緩和過程の研究
Author(s)	谷村, 洋
Citation	大阪大学, 2015, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/52178
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

論 文 内 容 の 要 旨

氏 名 (谷 村 洋)	
論文題名	フェムト秒時間分解光電子分光法による半導体における励起電子の超高速緩和過程の研究
論文内容の要旨 固体中の励起キャリアが誘起する超高速散乱過程の研究は、学術的、応用科学的に極めて重要な研究対象であり、半世紀に渡って精力的な研究が展開されてきた。しかし、従来の分光学的手法の限界の為に、エネルギーおよび運動量空間における励起電子分布の直接的観測がなされず、多くの重要な問題が未解決のまま残されていた。本研究では、時間分解光電子分光法を開発・適応して、励起電子波束をエネルギーと運動量の空間で状態選択的に直接検出し、その時間発展をフェムト秒時間域で直接的に追跡して、励起電子の超高速散乱過程を微視的に解明した。更に、Si、GaAs、InSb等の複数の代表的半導体を対象とした研究を行い、知見の体系化を図った。 第一章では、まず、従来の研究成果を総括的にまとめ、課題を明確にした。 第二章では、本研究に関連する理論的内容を、①半導体物性、②電磁波と電子の相互作用、③励起電子に作用する種々の相互作用、④時間分解二光子光電子分光等についてまとめ、本研究の基礎を明確にした。 第三章では、本研究で用いた実験装置の詳細を記載し、用いた手法の特徴をまとめた。 第四章では、直接遷移型半導体の代表例であるGaAsを試料として用い、時間分解光電子分光法によって、励起電子分布がエネルギーと運動量空間において直接的に観測できることを明らかにした。更に、角度分解測定から、Γ valley内に光注入された励起電子が示す他のvalleyへの超高速のintervalley散乱の動力学を直接解明した。 第五章では、狭ギャップ半導体の代表例であるInSb中の励起電子の超高速緩和過程を研究した。その結果、励起電子は、GaAsと同様な超高速intervalley散乱を示すと共に、狭バンドギャップの特徴を反映して、電子間相互作用によるimpact ionization過程を超高速で誘起する事を明らかにした。複数の相互作用が強く関与する複雑な緩和過程を、状態選択的な時間分解測定を通じて明確に分離し、impact ionizationの遷移速度を実験的に求めた。その結果、従来の理論の不十分さを明らかにし、その理由を考察した。 第六章では、最も代表的な半導体であるSiとGaAsを試料として採用し、4～5 eVの光パルスを用いて光注入した高励起電子の緩和過程の研究を行なった。このような高エネルギー領域での超高速緩和の実時間追跡による研究は未踏の領域であったが、本研究による状態選択的な直接測定とその定量的な解析により、高励起状態の緩和過程が、主にフォノンとの相互作用による他のvalleyへの超高速散乱に支配されていることを解明した。 第七章では、本研究内容の総括を行い、その成果を整理するとともに、今後の課題とそれらへの展望をまとめた。	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (谷 村 洋)			
論文審査担当者	(職) 氏 名		
	主 査	教授	谷村 克己
	副 査	教授	栗津 邦男
	副 査	教授	西嶋 茂宏
	副 査		

論文審査の結果の要旨

本論文は、ここ半世紀に渡って世界中で精力的に研究されてきた、半導体結晶中の励起キャリア動力学過程の重要な諸問題を、フェムト秒時間領域の時間分解能を有する光電子分光法を用いて、直接的知見に基づいて解明する事を目的としたものである。論文は、以下の七章から構成されている。

第一章は導入部として、過去における半導体中の励起キャリア動力学に対する研究を概観し、その基本的な問題を明らかにするとともに、従来の研究手法の問題点と限界を指摘し、克服すべき方向性を提起している。

第二章は、本研究において必要となる基礎的知見を再整理し、外部電磁場、固体の電子系と格子系、およびそれらの間の相互作用を、波動場の量子化の観点から一貫して記述し、本研究の理論的基礎を構築している。

第三章は、本研究で用いた実験装置である、フェムト秒レーザー装置、超高真空装置、および光電子分析装置の原理と実際をまとめ、フェムト秒時間分解光電子分光の利点と特徴を整理している。

第四章においては、最も代表的な半導体であるGaAs結晶に対して、新たに開発した時間・角度分解2光子光電子分光装置を用いて展開した諸結果をまとめている。光励起直後の非平衡励起電子分布を、世界で初めて、エネルギーと運動量空間上で直接イメージ化する事に成功している。更に、励起電子分布関数の時間変化をフェムト秒の時間領域で追跡し、①Γバレー内での非平衡電子分布の準平衡化過程、②バレー間散乱の超高速過程、に対して、未解明であった基礎過程を直接的に解明し、遷移確率の絶対値を求めている。

第五章においては、InSbを対象として、状態選択的に発生する電子間相互作用に起因する衝突電離過程を、始状態と終状態をエネルギーと運動量空間で分離的に直接検出し、そのミクロな動力学と遷移速度の絶対値を決定している。バレー間散乱の超高速過程、およびそれと衝突電離過程の競合関係の研究も含め、狭ギャップ半導体の代表例である物質中の励起電子動力学を全面的に解明している。

第六章では、従来の手法では実験的研究が不可能であった、伝導帯底から3 eV以上に位置する高励起状態の緩和過程を、半導体のモデル物質であるSiとGaAsを対象として研究し、今までの理論的解析から推測されている電子格子相互作用による散乱速度が、1桁以上過大評価されていることを実証している。

第七章では、本研究における主要な成果をまとめ、今後展開すべき課題を提起している。

以上のように、本論文は、環境・エネルギー工学における半導体素子・デバイスの今後の活用に必要な基礎の確立において、大きな寄与をするものと判断できる。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。