The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Study of photoexcited carriers in solar cell materials and devices using time-resolved terahertz spectroscopy
Author(s)	山下, 元気
Citation	大阪大学, 2017, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/61826
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　山　下　元　気　）	
論文題名	Study of photoexcited carriers in solar cell materials and devices using time-resolved terahertz spectroscopy (時間分解テラヘルツ分光を用いた太陽電池材料・デバイスにおける光励起キャリアに関する研究)

論文内容の要旨

光電変換デバイスの発展は次世代オプトエレクトロニクス開拓の重要な課題で，高速データ通信実現に不可欠な速い応答速度と，省エネルギー社会実現のために必要な高いエネルギー変換効率が求められている．特にエネルギー変換効率の改善は発光デバイスや太陽電池等の社会実装に必須の課題であり，その向上のためにはピコ秒からナノ秒で生じるエネルギー散逸過程を示すキャリアダイナミクスを理解することが重要である．これまで光電変換デバイスの光電流測定や光学的測定を用いたキャリアダイナミクスの検討がされてきた．光電流測定は伝導度を絶対値評価できるが電極や表面状態の影響を受けやすく，光学的測定は時間分解能に優れるがキャリアの多体効果によりキャリア数評価に不確定性が生じるため，これらの測定手法によるキャリアダイナミクスに関する情報を抽出することは困難であった．

本論文では，テラヘルツ周波数帯の電磁波に注目し，光電変換材料・デバイスにおけるキャリアダイナミクスの絶対値評価に向けた分光手法を開発した．この分光手法は光電流測定が得意とする光伝導の絶対値評価と、光学的測定が得意とする非接触でピコ秒の高い時間分解能の測定の両者を併せ持つ．この分光手法が太陽電池材料の研究における有用性を示すために，まず最も典型的な光電変換材料であるシリコン単結晶を調べた．その結果，紫外光励起直後に生じるキャリア増殖を高い精度での絶対値評価に成功し，また試料の表面状態によりキャリアの失活が劇的に変わる様子を観測した．これらの実験からピコ秒の速いキャリアダイナミクス評価におけるこの分光手法の信頼性を初めて明確に示した．さらに，この実験手法を光電変換デバイスに展開した．光電変換デバイスには積層構造に由来した干渉縞がテラヘルツ周波数帯に現れ,デバイス内部のキャリア分布に対して敏感に応答する．そこで化合物半導体のp-i-n構造に光励起した際のテラヘルツ応答を実験的に調べることで，デバイスの活性層中のキャリアの高感度検出に応用できることを初めて示した．

様式7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　山　下　元　気　）			
論文審査担当者		（職）	氏　名
	主 査	教　授	芦田昌明
	副 査	教　授	宮坂　博
	副 査	教　授	吉田　博

論文審査の結果の要旨

光励起によって生じる電子の振る舞いを調べることは、光検出器の高感度化、高速化や太陽電池の高効率化などに重要である。その際、実験が容易な光電流測定は、光電変換効率の絶対評価も可能であるため多用されるが、電極付けを必要とすることから微細な試料には適用できない上、時間分解能に乏しく、物質内で生じる動的過程に関する情報が得られない。一方、可視域を中心とした発光などを検出する光学測定は、物質と接触することなく高い時間分解能で電子の時間応答を追跡できるが、定量性に乏しい。電波と光の中間周波数帯であるテラヘルツ波帯は、その測定手法が著しい発展を遂げていることから注目されているが、光励起における電子の時間応答を調べている仕事は多いものの、定量性に乏しい段階であった。

こうした中、申請者は光電流測定や発光測定も経験した上で、テラヘルツ波時間領域分光法の実験系の構築から手掛けた。そして、絶対値評価に向けて、光励起強度、試料への光侵入長、テラヘルツ波時間応答から周波数応答への変換手法、電子の周波数応答のモデルの吟味、などの事項を慎重に進めた結果、高い精度と高い時間分解能を併せ持つ手法の開発に成功した。その手法を最もよく知られた半導体であるSiの単結晶に適用したところ、光電変換効率の光波長依存性は、最も信頼されている光電流測定結果とよい一致をみた。さらに、その時間応答を調べることで、光電変換効率は光励起直後には試料依存性が見られないものの、試料表面の状態によって電子の寿命が短くなることで外部に取り出せる電子数が減る、すなわち実際の光電変換効率が劣化することを明らかとした。また、この手法を異種材料の層が積層されているGaAs系の実際の太陽電池デバイス構造に適用し、他の手法では評価が困難な、光励起によって電子が生じる活性層の様子を抽出することができることを見出した。これは、この手法の実用性も示すものである。

実験手法や解析方法も含めて上記の成果が記載された本論文は、学術上、さらにその応用上も価値が高いものであると判断されるとともに、申請者の優れた研究能力を示すものである。

従って本論文は、博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。