

Title	Development of layer-by-layer characterization method for semiconductor devices using terahertz spectroscopy
Author(s)	宮川, 敬太
Citation	大阪大学, 2021, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/82305
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、 ＜a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">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

論 文 内 容 の 要 旨

氏 名 （ 宮 川 敬 太 ）	
論文題名	Development of layer-by-layer characterization method for semiconductor devices using terahertz spectroscopy （テラヘルツ分光を用いた半導体デバイスの層ごとの特性評価法の開拓）
論文内容の要旨	
本研究では、テラヘルツ (THz) 分光を用いて半導体デバイスの特定の層のみを評価する手法を開発した。こうしたデバイスは一般的に、p層、空乏層、n層からなり、空乏層のみ本質的に電場が生じている。超短光パルスの照射によって発生したTHz波は、この内部電場駆動の電流の時間微分に比例する。そのため、半導体デバイスにバイアスを印加することによって内部電場を意図的に変化させ、THz波の時間波形を系統的に解析することで内部電場の定量評価を可能とした。また、p層およびn層の特性評価には、THz磁気光学カー効果を適用した。これはキャリアの磁場応答を反映したTHz波の偏光状態を解析する手法であり、磁場の向きによってp層およびn層の応答を選択的に抽出することが可能である。 具体的には、各層の厚みおよびキャリア密度が既知のGaAs太陽電池を対象に測定を行った。試料に超短光パルスを照射し、発生したTHz波の振幅および時間位置のバイアス依存性を測定した。その結果、振幅は強電場下で飽和し内部電場の定量評価が限定されてしまう一方で、時間位置は電場に対しクリアな応答を示した。これは、半導体デバイスの空乏層評価には従来の指標であった振幅ではなく、時間位置が最適であることを示唆している。また、照射強度を制御しI-V測定より得られる効率と比較したところ、本手法は効率と相関が取れた結果を示すことも確認した。以上より、半導体デバイスの空乏層評価に最適な新たな評価基準の提案に成功した。THz磁気光学カー効果の実験では、太陽電池に加えp型およびn型にドーピングされたエピ膜の測定も行った。また本手法の精度を確かめるため、サイクロトロンシフトを考慮したDrudeモデルによりキャリア応答の数値計算も行った。その結果p型エピ膜の磁気光学信号はmradと非常に小さい一方で、デバイスではTHz波の電場分布がp層で最大となり磁気光学信号を増大させることを明らかにした。また数値計算との比較により、評価が困難なp層のキャリア密度の評価において、本手法が従来の評価法より優れていることを見出した。	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (宮 川 敬 太)			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教 授	芦 田 昌 明
	副 査	教 授	石 原 一
	副 査	教 授	宮 坂 博

論文審査の結果の要旨

様々な半導体材料の物性を評価することは、その応用を考える上で重要である。特に半導体デバイスのキャリア特性の評価は、その性能を直接決定づける指標となる。その評価法としては、端子を取り付けることによる電氣的測定が一般的であるが、端子の特性が内部の評価を妨げてしまうことがあり得る。そこで、非接触測定として、これまで発光分光やテラヘルツ（THz）楕円偏光解析などが行われてきた。これらの方法は高い時空間分解能も併せ持ち有用である。しかしながら、これらはデバイスを均一化した物体として扱うため、層ごとの特性評価を行うことができず、デバイス設計において適切なフィードバックを行うことができない。

そこで、申請者はTHz時間領域分光を用いてデバイスの特定の層のみを評価する手法の開拓を進めた。自身でデバイスの作製も手掛け、内部構造がよく分かったデバイスを対象とした。まず、赤外パルス光をデバイスに照射した際に発生するテラヘルツ波の時間波形を注意深く解析することで、内部の電場の様子を明らかとすることに成功した。従来はテラヘルツ波の強度に着目することが多い中で、ユニークなものであると認められる。この内部電場からは、キャリアが少ない空乏層の情報が得られる。一方で、キャリアが存在するn層やp層の情報を得るため、磁場印加下におけるテラヘルツ反射波の偏光を解析する、磁気光学カー効果の実験を行った。数値計算による磁気光学効果の評価と併せ、キャリアの符号も含めて密度を簡便に測定することに成功した。こうして、これらの測定を総合することで、半導体デバイスの層ごとの情報を得ることに至ったと評価できる。

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。