



Title	Optically detected cyclotron resonance in Ge and Si
Author(s)	戸丸, 辰也
Citation	大阪大学, 1991, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/37231">https://hdl.handle.net/11094/37231</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。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</a>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

【6】

氏名・（本籍）	戸	丸	辰	也
学位の種類	理	学	博	士
学位記番号	第	9	6	3
学位授与の日付	平成	3	年	3
学位授与の要件	理学研究科	物理学専攻		
	学位規則第5条第1項該当			
学位論文題目	Optically detected cyclotron resonance in Ge and Si (Ge, Si における光検知サイクロトン共鳴)			
論文審査委員	(主査)			
	教授	大塚	穎三	
	(副査)			
	教授	平田	光児	教授 邑瀬 和生 教授 斎藤 基彦
	助教授	中田	博保	

論文内容の要旨

光検知サイクロトン共鳴は、サイクロトン共鳴吸収により熱せられた電子又は正孔が、発光体（励起子、電子正孔液滴、等）に衝突し、その発光体を解離させることにより検知されるものである。本論文では、光検知サイクロトン共鳴、並びに、通常のサイクロトン共鳴を同一条件下で、高純度及び不純物を注入した Ge 及び Si において観測し、それらを比較検討することにより、光検知サイクロトン共鳴の特徴、機構を明らかにした。以下、結果を列挙する。

- (1) 束縛励起子からの発光線を観測した光検知サイクロトン共鳴信号の解析により、衝突解離過程においては、ドナー型束縛励起子は正孔よりも電子の衝突に対して大きい断面積を有し、アクセプター型束縛励起子は電子よりも正孔の衝突に対して大きい断面積を有することが示された。さらに、入射する正孔と電子に対する発光体の衝突解離断面積の比は、発光体を構成する正孔と電子の数の比と共に単調増加する。以上のことより、衝突解離過程は、同種粒子間の相互作用によって支配されていることが明らかになった。加えて、この同種粒子間に特別に働く相互作用が交換相互作用であるならば、正孔共鳴と電子共鳴の信号強度の比が、通常のサイクロトン共鳴においてよりも光検知サイクロトン共鳴において大きく観測される現象の説明が可能である。
- (2) サイクロトン共鳴により熱せられた電子の有効温度は、サイクロトン共鳴線幅より見積ることができ、発光体の有効温度は、発光強度及び発光スペクトルの変化より見積ることができる。4.2K 以下に冷却されている試料では、光検知サイクロトン共鳴が観測可能な条件下で、電子が数十～数百 K に熱せられているのに対し、発光体は～1 K 程度の上昇に留ることが判明した。このことは、非平衡状態を導くサイクロトン共鳴条件下では、全系を単一の有効温度で記述できないことを示している。

(3) 半古典論を用いたエネルギー面の考察, 及び, 量子論を用いた遷移確率の計算より, 正孔のサイクロトロン共鳴とその高調波とでは, 遷移確率の波数依存性が異なることが判明した。このことを反映して, サイクロトロン共鳴の基本波で熱せられた正孔が波数空間において比較的均等に分布するのに対して, 高調波で熱せられた正孔は, 磁場に平行な波数成分が零付近である領域に鋭く分布する。電子正孔液滴は, その状態密度の考察を通して, 磁場に平行な波数成分が零付近である正孔の衝突により効率よく解離することが示される。したがって, 基本波共鳴よりも高調波共鳴で熱せられた正孔のほうが電子正孔液滴を効率よく解離させる。言い替えれば, 電子正孔液滴からの発光線を観測した光検知サイクロトロン共鳴では, 高調波共鳴が増強される。この効果のために, Ge において軽い正孔は 3 次まで, 重い正孔は 6 次まで, 鋭い高調波共鳴を観測できた。

### 論文審査の結果の要旨

本論文は外部から光励起された半導体における非平衡電子系の緩和過程において吐き出される各種の光, PL (フォトルミネッセンス), に対して, 発光体 (励起子, 束縛励起子, 電子, 正孔液滴…) を取り巻くキャリアーのサイクロトロン共鳴がどのような効果を及ぼすかということを調べることによって, 半導体の特性, 主に非平衡キャリアーのダイナミックスをこれまでとは違った側面から追求した研究である。

この PL とサイクロトロン共鳴法を結合した実験方法を「光検知サイクロトロン共鳴法」(ODCR) と呼ぶ。

第 1 章では, 序論としてこれまでに行われた各種の研究結果と ODCR から得られる情報との関係および違いについてまとめ, 研究の方向づけを行った。第 2 章及び第 3 章では ODCR の原理及びその実験装置についての工夫が詳述してある。第 4 章で基本的な半導体であるシリコンとゲルマニウムに関する実験結果について述べ, 第 5 章では, 実験結果の解析と議論を行っている。最後に第 6 章でこの研究によって得られた結果に対する総括を行っている。

この研究によって明らかになったことは,

- 1) n 型及び p 型の試料に関する ODCR の実験結果から, 非平衡キャリアーに依る発光体の衝突解離過程では, 同種粒子同志の衝突 (電子-電子, 正孔-正孔) が支配的であることを示し,
- 2) ODCR においては, 通常のサイクロトロン共鳴に比べて正孔の高調波共鳴が極端に強く現われることを見出し, その機構の解明を通して価電子帯内における非平衡正孔の分布の様子を明らかにした。また,
- 3) 発光体と非平衡キャリアーが強く相互作用している系では, 単一の有効電子温度を用いて表わすことは不可能であることを実験的につきとめた。

この研究を通して得られた知見は, 今後非平衡電子系のダイナミックスを追求するうえで非常に重要で, 学位論文として十分価値のあるものと認める。