

Title	四元合金半磁性半導体Hg <sub>1-x-y</sub> CdxMnyTeのシュブニコフ・ド・ハース効果の研究
Author(s)	嶽山, 正二郎
Citation	大阪大学, 1983, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/33901">https://hdl.handle.net/11094/33901</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">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

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

Osaka University

氏名・(本籍)	たけ 嶽	やま 山	しょうじ 正	ろう 二郎
学位の種類	工	学	博	士
学位記番号	第	6 2 5 4	号	
学位授与の日付	昭和 58 年 12 月 13 日			
学位授与の要件	基礎工学研究科 物理系専攻 学位規則第 5 条第 1 項該当			
学位論文題目	四元合金半磁性半導体 $Hg_{1-x-y} Cd_x Mn_y Te$ のシュブニコフ・ド・ハース効果の研究			
論文審査委員	(主査)			
	教授	成田信一郎		
	(副査)			
	教授	中村	伝	教授 藤田 英一

### 論 文 内 容 の 要 旨

$Hg_{1-x} Mn_x Te$  に代表されるナローギャップ化合物半磁性半導体は, Mn に付随する磁性的性質が, Mn に局在した磁気モーメントとバンドの電子スピンとの間の交換相互作用を介在して, 半導体のバンド構造に様々な興味ある現象を引き起こす。これまでに Shubnikov - de Haas (Sh-dH) 効果や磁気光吸収等の数々の実験によって低温・磁場中での spin subband 構造の解析が行なわれてきた。しかしながら, Mn 組成が磁性的性質とバンド構造 (特にエネルギー・ギャップ:  $E_g$ ) を同時に決めてしまうので, ナローギャップ半導体特有の non-parabolicity と交換相互作用の影響が複雑に絡み合っており, バンド構造, ひいては, バンドパラメーターの正確な決定に大きな障害となっていた。本研究では,  $Hg_{1-x} Cd_x Te$  をベースにして, そこに Mn 成分を加えた四元  $Hg_{1-x-y} Cd_x Mn_y Te$  を実現し, 3 元ナローギャップ半磁性半導体では解決不可能と思われた諸問題をより高い次元から解決することを試みた。すなわち, Cd 組成によって大きくバンド構造を変化させ, Mn 組成はその磁性的性質とともに独立に制御できる利点がある。バンド構造の解析にあたっては Sh-dH 効果のみを採用し, その可能性を最大限に利用した。この測定には, 各組成の非常に高い均一性及び高電子移動度の単結晶の作成が要求される。四元の組成をもつこの系では, この要求は非常に困難なことであるが, 本研究で開発した修正 2 相混合結晶成長法により非常に良い結果が得られた。Sh-dH 振動の測定には, Cd 組成を  $0.01 \leq x \leq 0.23$  と大きく変化させ, Mn 組成  $y \leq 0.02$  に押え, 各々の組成のものについて In ドーピング, 又はアニールによって伝導電子濃度を  $10^{16} \text{ cm}^{-3} \sim 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  程度に制御し, 試料のフェルミ・エネルギーを変えた。磁場は 6.7 T まで, 温度は 1.5 K  $\sim$  30 K で統計的測定を行なった。解析にあたり, 先ず, Sh-dH 振動の温度依存性から有効質量を求める段階で non-parabolic な効果と交換相互作用による影響を明確に

分離する方法を開発し、基本的なバンドパラメーターであるエネルギー・ギャップ  $E_g$  と momentum matrix element  $P$  を正確に決定した。このことによって  $\text{HgMnTe}$  の 3 元で起っていた 1 つの問題に対する解答が得られた。次に、 $\text{Sh-dH}$  のピーク位置の温度及びエネルギー変化を系統的に解析することによって、前記の交換相互作用を担う交換パラメーターの決定を行なった。しかしながら、ピークの damping 中が系統的エラーを誘引していることが判明した。そこで damping をも含めた横磁気抵抗  $\rho_{xx}$  を久保の伝導テンソルの磁場中での表式から導出することを試みた。ナローギャップ特有の non-parabolicity と強いスピン軌道相互作用及び交換相互作用の下でのスピン・サブ・バンドの特異な動きを考慮して計算を行なった。この結果と生の  $\text{Sh-dH}$  のデータとのフィッティングによって前記の交換パラメータの再決定を行なった。このことにより系統的エラーは解決され、 $N_0 \cdot \alpha = -0.2 \text{ eV}$ ,  $N_0 \cdot \beta = +0.73 \text{ eV}$  という交換パラメーターの値が得られた。これは、広いエネルギーギャップを持ち non-parabolic な影響のない半磁性半導体  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  等で得られている値とよい一致をする。このように四元系の採用によって、non-parabolicity の問題を解決する一方、 $\text{Mn}$  磁性の複雑化を避けて、明確なバンド構造の解析及びこの系での交換相互作用の解明ができた。3 元系では  $\text{Mn}$  組成を多くしなければ実現できない正ギャップ ( $E_g > 0$ ) バンド構造をもつものも、4 元系では  $\text{Mn}$  組成が少なくても  $\text{Cd}$  組成によって実現でき、反強磁性的作用が少ないために、 $g^*$ -factor の温度・磁場による変調度も大きく、赤外・遠赤外波長領域のスピン・フリップ・ラマンレーザー素子としてより広い可能性が期待される。

### 論文の審査結果の要旨

磁性をもった半導体、所謂磁性半導体の研究は 20 年程前にさわがれたが、大きな結晶の得られないこと、また磁性体としてはよいが、半導体としては不十分な性質である等の欠点のために研究は下火となった。新らしく登場したのが半磁性半導体で、 $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ ,  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  等であり、これはよく性質の知られた半導体、 $\text{HgTe}$ ,  $\text{CdTe}$  に  $\text{Mn}$  等の磁性物質を加えて半導体に磁性を与えるもので、ポーランド、米国、フランス等で盛んに研究されるようになった。これらの半導体では  $\text{Mn}$  に局在した磁気モーメントとバンドの電子スピンの交換相互作用を介して半導体のバンド構造に種々の興味ある性質を与えるが、 $\text{Mn}$  の組成が磁性的性質とバンドギャップを同時に変化させるので、ナローギャップ半導体特有のバンドの non-parabolicity と絡みあって、バンドパラメータに複雑に影響するため基礎的性質を研究するときの障害となっていた。この研究ではバンドギャップをコントロールするためには  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  の  $\text{Cd}$  の成分比を変えることにより実現し、 $\text{Mn}$  は比較的少い 2% 迄の四元半磁性半導体  $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_x\text{Mn}_y\text{Te}$  を作ることによって  $\text{Mn-Mn}$  の複雑な相互作用をさけ、真にバンド構造に及ぼす  $\text{Mn}$  の影響を明確にし、今までの定説のなかった半磁性半導体のバンドパラメータを確立したものである。

しかし四元、すなわち、水銀、 $\text{Cd}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Te}$  組成をもつ単結晶の製造は非常に困難であった。嶽山君は種々の方法を試みた末に、修正 2 相混合結晶成長法を提案してよい結果を得た。得られた結晶に対

するバンド構造の測定にはシュブニコフ・ド・ハース効果を用い、Cdの組成を1%より23%と大きく変化させ、バンド構造の変化を研究した。

その結果、はじめてマトリックス要素Pを確定し、また先の交換相互作用を担う、交換パラメータ $\alpha$ 、 $\beta$ がエネルギーギャップに無関係に一定であることを見出し、 $\alpha = -0.2$ 、 $\beta = +0.7$  (eV)のよい結果を得た。

これ等の結果より open gap 側の四元半磁性半導体を作ることにより反磁性作用の少ない、大きなg-因子をもった、したがって温度、磁場によって大きくその性質を変化させる半導体を得られることが分り、赤外、遠赤外のスピン・フリップ・ラマン素子のすぐれた素材となることを明らかにした。

このように本研究は半導体基礎物性の研究としても、また将来の新しい半導体材料の開発としても、立派な研究で学位論文として価値あるものと認められる。