



Title	強磁場下におけるn型InSbの伝導電子に関するサイクロトロン共鳴の研究
Author(s)	松田, 修
Citation	大阪大学, 1979, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/32636">https://hdl.handle.net/11094/32636</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">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> 大阪大学の博士論文について

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

氏名・(本籍)	松 由 修
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	第 4673 号
学位授与の日付	昭和 54 年 6 月 21 日
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	強磁場下における n 型 InSb の伝導電子に関する サイクロトロン共鳴の研究
論文審査委員	(主査) 教授 大塚 穎三 (副査) 教授 山田 安定 教授 邑瀬 和生 助教授 鈴木 勝久 助教授 平田 光兒

## 論 文 内 容 の 要 旨

InSb は、有効質量が自由電子の約 70 分の 1 と小さい半導体で、物理的極限状態を容易に作り出すことのできる物質である。又、最近の遠赤外レーザーの発達により、数十  $\mu\text{m}$  から数百  $\mu\text{m}$  といった波長域の強力な単色光が簡便に得られるようになった。この InSb と遠赤外レーザーとを組合せることにより、『強磁場中の伝導電子のふるまい』を、低温熱平衡状態(4.2~200K)と、極低温非平衡状態との双方に関して、サイクロトロン共鳴の手段により実験、研究した。

低温(4.2~50K)での n-InSb の電子散乱機構は、イオン化不純物によるものが主要であるが、強磁場中( $\omega_c \tau \gg 1$ ,  $\omega_c$ : 共鳴周波数,  $\tau$ : 運動量緩和時間)での、低エネルギー電子( $k_B T \ll \hbar \omega_c$ )の散乱は、理論的にも議論の盛んな問題である。InSb の伝導体の非放物線性を考慮した注意深い解析の結果、共鳴吸収の巾より求めた散乱確率は  $k_B T \ll \hbar \omega_c$  では温度依存性がなく、 $\hbar \omega_c$  が  $k_B T$  に近づくにつれ、 $\omega \rightarrow 0$  の極限での依存性つまり、散乱確率  $\alpha T^{-3/2}$  に移っていくことが判った。又、70~80K 以上では、 $\omega_c$  や不純物濃度に依存しない線巾を示し、フォノン散乱が主要となっていることがわかる。更に、有効質量の温度依存性を、測定し、電子-フォノン相互作用による自己エネルギー-シフト量を評価してみた。

磁場中の n-InSb の静電場による非線型現象は別の興味深い問題である。電場で加速された電子は、格子系と非平衡状態-ホットエレクトロンを、形成し平衡状態において議論すべき運動量緩和以外に、エネルギー緩和が中心の問題となる。そこでは電子のエネルギー分布函数を決定することが最も本質的である。平衡状態のサイクロトロン共鳴吸収のデータを基礎として、このホットエレクトロン・サイクロトロン共鳴吸収の実験を行ない解析したところ、分布函数は、直交する電磁場の場合において

も、平行な電磁場の場合においても、古典的マックスウェル分布からはずれた異常な分布をしていることが判明した。しかもそのずれかたは、両配置で逆方向であり、従来の理論の示唆と定性的一致が見られた。

更に、磁場中のホットエレクトロンのエネルギー緩和過程の一つである、ランダウ準位間の再結合発光（名づけて『サイクロトロン発光』）を観測した。この発光の強度の電場・磁場依存性、波長可変性、偏光性等の情報を得たが、これらは上記ホットエレクトロン共鳴吸収のデータと相補的であり、やはり従来の電子温度近似の破綻を支持する結果が得られた。

以上述べて来たようにn型InSbのサイクロトロン共鳴を、種々の条件下で行なうことにより強磁場中での伝導電子と荷電散乱体との相互作用を、総合的に研究し得たと考える。

### 論文の審査結果の要旨

n型InSbは、電子易動度の高い半導体の典型として、諸々のデバイスに用いられている。したがつて、その基本的物性も、いろいろな角度から調べられてきた。ここで述べるサイクロトロン共鳴に関する研究の歴史も、1956年にまでさかのぼることができ、長さに於ては決して例外でない。もっとも遠赤外レーザーの前には、共鳴信号があまりに雑作なく得られるため、感度のよい遠赤外用検出器としての利用に関心が集中する半面、物性の重要な課題のひとつである輸送現象研究の一助としてこれを利用した例は、Kobayashi-Otsuka（1975）によるもの以外、ほとんど見当らない。

松田君による本研究は、数種の遠赤外レーザー波長を用いて、ひとつには上記Kobayashi-Otsukaのhot electronに関する仕事を定量化したものである。しかしながら研究の成果はそれだけにとどまらず、電子温度の概念が拡張された上、さらには熱平衡時における共鳴の精密解析から、band-gapの温度依存性について、松田君は従来報告されている結果を基本的に改変する結論を導き、また低温域での電子易動度がDC測定の結果と如何に食い違うかを、遠赤外レーザーの波長と関係づけて明示した。

興味ある結果のひとつは、電場と磁場との相対配置が異なると、電子分布が変化する様子を、サイクロトロン共鳴線の形状、相対強度等から的確に示したことで、Kurosawa等（1965, 1972, 1973）の理論的予測を、定性的に立証することとなった。

InSbの特徴は、いくつかの強磁場条件の中でとくに $\gamma \equiv \hbar\omega_c / Ry^* \gg 1$ （ $\omega_c$ はサイクロトロン振動数、 $Ry^*$ は有効Rydberg energy）の関係が、10<sup>4</sup>G程度の印加磁場で難なく実現できることである。この条件を、たとえば水素原子を真空中において実現しようと思えば、あまりに非現実的な天文学的強磁場を必要とする。松田君はInSbのかかる性質を巧みに利用して、量子極限における物性実験をきわめて手軽に行なったという点でも注目に値する仕事を為したと言えよう。これはIshida-Otsuka（1977, 1979）による同じ物質に関する電流磁気効果の仕事と相補うもので、同系統の研究に対し、今後基本的な指針を与えるものと考えてよい。よって理学博士の学位論文として十分価値あるものと認める。