



|              |   |
|--------------|---|
| Title        | 1° K以下における4ミリ波サイクロトロン共鳴によるシリコン、ゲルマニウムの量子論的輸送現象の研究   |
| Author(s)    | 大山, 忠司  |
| Citation     | 大阪大学, 1969, 博士論文  |
| Version Type |   |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/29968">https://hdl.handle.net/11094/29968</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

【16】

|         |  |
|---------|--|
| 氏名・(本籍) | おお 大 山 忠 司   |
| 学位の種類   | 理 学 博 士  |
| 学位記番号   | 第 1815 号   |
| 学位授与の日付 | 昭 和 44 年 9 月 30 日  |
| 学位授与の要件 | 学位規則第5条第2項該当   |
| 学位論文題目  | 1°K以下における4ミリ波サイクロトロン共鳴によるシリコン、ゲルマニウムの量子論的輸送現象の研究                       |
| 論文審査委員  | (主査)<br>教 授 大塚 穎三<br>(副査)<br>教 授 川村 肇 教 授 国富 信彦 教 授 金森順次郎<br>教 授 西山 敏之 |

論 文 内 容 の 要 旨

1°K以下でのサイクロトロン共鳴がヘリウムⅢ冷却器を用いて初めて行こなわれた。シリコン、ゲルマニウムにおける中性不純物による電子捕獲と同様、音響量子及び中性不純物による電子散乱が71ギガサイクロの周波数のマイクロ波で0.5°Kから4.2°Kの温度領域で研究された。この研究において、これまで比較的高温域では観測されなかったいろいろな新しい現象が明きらかになった。

量子条件、即ち  $h\nu_c > k_B T$  の下で音響量子による電子散乱の緩和時間が超電純度シリコン、ゲルマニウムにおけるサイクロトロン共鳴線の半値巾測定によって研究された。実験結果は伊藤等及び Meyer による計算と比較検討されている。

更に、量子極限、即ち  $h\nu_s > k_B T$  の下での中性不純物散乱におけるスピン偏極の効果が砒素、アンチモン、インジウムを添加されたゲルマニウム及びリチウム、燐、ホウ素の添加されたシリコンについて破究されている。この問題は電子—水素の原子散乱に類似して取り扱っかれ、スピン偏極した電子の、スピン偏極したドナーによる散乱に対する簡単な解析的計算が Schwartz による計算を基にして行こなわれている。この計算が実験結果と本質的な一致を示し、しかも量子極限下における伝導電子のスピン緩和時間と捕獲に対する寿命との比が0.2の程度であるということが見出された。燐の添加されたシリコン及びインジウムの添加されたゲルマニウムでは中性不純物による電子捕獲に対するスピン偏極の効果が観測された。またゲルマニウムのアクセプター準位の平均g値が電子捕獲に影響を与えるスピン偏極の度合から  $|g_a| \simeq 6.0$  であると見積もられている。

## 論文の審査結果の要旨

シリコン、ゲルマニウムに関するサイクロトロン共鳴の実験はいろいろな目的をもって、さまざまな角度から行われてきたが、 $\text{He}^3$ -寒剤を用いて  $1^\circ\text{K}$  以下の超低温で実験が行われたのはこれが最初である。 $0.5\sim 4.2^\circ\text{K}$  の温度域にわたってフォノンおよび中性不純物による電子の散乱、また中性不純物による電子の捕獲の問題が  $71\text{GHz}$  のマイクロ波を用いて研究され、高温域では観測されなかった数々の新しい現象が見出だされた。

フォノンによる電子散乱に関しては、とくに量子条件  $\hbar\omega_c < k_B T$  のもとでサイクロトロン共鳴線の半値幅を超高純度のシリコン、ゲルマニウムで測定し Ito 等および Meyer の計算と比較している。本実験の結果からは、いづれの理論にも決定的に支持し得ないが、Si ではかなり高温部で Ito の理論から外れ、 $0.1^\circ\text{K}$  付近の極低温へ外挿すると一見 Meyer の計算結果に近くなる。

つぎに大山君は量子極限  $\hbar\omega_c > k_B T$  での中性不純物散乱におけるスピン分極の効果をヒ素、アンチモンまたはインジウムをドーブしたゲルマニウムと、チリウム、リンまたはホウ素をドーブしたシリコンについてしらべている。この問題は  $e^-$ -H 散乱との類似点をとらえ、Schwartz の計算を基礎にしてスピン分極効果を取り入れて簡素化された計算を行って実験と比較すると驚ろくべき一致が見られ、また伝導電子のスピン緩和時間と捕獲寿命の比を量子条件のもとで求めると  $\sim 0.2$  となることも Ge/As でたしかめられた。また Si/P や Ge/In では中性不純物による電子捕獲に対するスピン分極効果が見出だされた。とくに前者については従来不純物伝導に関連して問題になっているいわゆる D<sup>-</sup> 理論の側面からの支持を実験的にきわめて明瞭に打出したものと高く評価される。また後者についての解析からゲルマニウム中のアクセプターの平均的な  $g$ -値を  $\sim 6.0$  (絶対値) と見つもっているが、ESR による測定が全く欠如しており且不可能視されている現状ではきわめて貴重な data<sup>1</sup> といわねばならぬ。

以上のべた始く、大山君は一見きわめて複雑多岐な現象を、すこぶる単純なモデルを用いて鮮やかに説明し、さらに超低温特有の新しい現象を見出して今後に発展的な問題を提起している。以上の観点と、同君が超低温におけるサイクロトロン共鳴の実験に於て克服した技術的困難の問題を併せ考えると、本研究が理学博士の学位論文として十分価値あるものと認められる。