

## 論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名 武内伴照

電子の反粒子である陽電子、及び陽電子と電子の束縛状態であるポジトロニウムは、それら自体が基礎的な物理学の研究の対象であると同時に、物質研究のユニークなプローブとして利用されている。論文提出者は、試料準備から測定までを低温のままできる装置を開発して、絶縁性結晶中のポジトロニウムの波動関数に関する直接的な観測を行い、第一原理による理論計算と比較した。また、液体窒素温度で電子線照射した Si の低温そのまま測定によって、Si 中の単原子空孔中の電子の運動量分布の観測を行った。

本論文は 4 章から成る。第 1 章で本研究の意義と背景となる事項の説明、および測定手段の解説がされた後、第 2 章で絶縁性結晶中の非局在ポジトロニウムに関する測定の詳細とデータの解析が述べられ、第 3 章で低温電子線照射した Si 中の空孔型格子欠陥に関する測定の詳細とデータの解析が述べられた後、第 4 章に結論がまとめられている。

第 1 章では、本研究に用いられた実験手法である、2 次元陽電子消滅 2 光子角相関法、陽電子消滅同時計測ドップラー広がり法、陽電子消滅寿命法、電子スピン共鳴法の基礎が、簡潔に述べられている。

第 2 章では、絶縁体結晶中の非局在ポジトロニウムについての従来の研究の解説に続いて、まず、氷(Ih)の単結晶の作成から方位を決定して測定用試料を切り出し装置に取り付けて測定するまでの一連の作業を十分に氷点以下に保つ工夫をした「低温そのまま測定」の手法が述べられている。次に、室温で準備した試料を低温に冷却して行ったアルカリ・ハライド(KCl、KI)中の非局在ポジトロニウムの測定について述べられている。測定には、2 次元陽電子消滅 2 光子角相関(2D-ACAR)法を用いて、運動量空間でのポジトロニウムの波動関数を調べた。物質中の軽い束縛状態の波動関数の情報を直接得られる例は他に無く、ポジトロニウムの物質中での波動関数を調べることは、非常に興味深い。これらの物質中では、波動関数が結晶の周期性を感じてブロッホ型になることに由来するサイド・ピークが現れる。論文提出者は、このサイド・ピークの強度を精密に測定し、さらに、ポジトロニウムの状態に対するベーテ・サルピータ方程式にもとづく第一原理計算で強度の理論値を求めた。その結果、氷(Ih)に対しては実験結果が再現できていない。これは、実際の氷(Ih)中の水素原子の位置が不確定であることが原因と考えられる。しかし、KCl と KI に対しては、過去の理論計算では再現できなかった実験結果の傾向を、非常に良く再現する結果を得ている。

第 3 章では、氷の低温そのまま測定手法を応用し、さらに低い温度である液体窒素温度程度を保ったまま測定可能な装置を開発して行った、Si 中の単空孔についての研究が述べられ

ている。具体的には、試料の Si 単結晶に、液体窒素中で低温電子線照射することにより単空孔を導入した。照射後、試料温度を上げることなく実験室に運搬し、新たに開発した低温そのまま測定装置を用いて、陽電子寿命測定、同時計数ドップラー広がり測定、電子スピン共鳴測定を行っている。Si 単空孔は、200K 以下の低温でのみ安定に存在し、温度が上昇すると拡散して消滅したり、互いに結合したりして、複空孔となる。このため、実験に際して、空孔導入から測定までを常に低温に保つ必要があり、これまで十分な研究が行われてこなかった。論文提出者は、陽電子寿命の低温そのまま測定によって捕獲サイトの陽電子寿命を求め、単空孔に捕獲された陽電子の寿命の理論値と一致することを示した。また、同試料の ESR 測定では不対電子の存在を示す共鳴信号は検出されなかった。これらの理由から、試料の主な陽電子捕獲サイトは、確かに、荷電状態が中性の Si 単空孔であることが結論づけられた。その上で、同試料を 2D-ACAR 測定し、Si 単空孔における電子運動量分布をはじめて観測した。

審査委員会は、本研究において、忍耐力を要する困難な測定と、注意深い解析が行われ、適切な考察がなされていると判断した。絶縁結晶中のポジトロニウムについての研究は、波動関数の運動量分布の直接的な観測と、第一原理による理論計算との比較を行ったものであり、物質中の束縛状態の波動関数の解明として意義がある。また、陽電子消滅測定装置の改良で可能になった、液体窒素温度で電子線照射した Si の低温そのまま測定の結果は、従来には報告例の無かった Si 中の単原子空孔における電子運動量分布を得ることに成功したものである。Si は半導体デバイスの基盤となる重要な材料であり、その最も基本的な欠陥である単空孔に対していられた結果は、半導体デバイスの開発や評価にとって重要なデータとなるであろう。なお、本研究は、指導教員他との共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験計画の立案、実験、解析を行ったもので、論文提出者の寄与は大であると判断される。

したがって、本審査委員会は博士(学術)の学位を授与するにふさわしいものと認定する。