

氏名	仁田昌二 につ た しょう じ
学位の種類	工学博士
学位記番号	工博第230号
学位授与の日付	昭和45年11月24日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当
研究科・専攻	工学研究科電気工学専攻
学位論文題目	極低温におけるトンネル効果と超電導を利用したヘリウム 液面計に関する研究

(主査)
論文調査委員 教授 田中哲郎 教授 大谷泰之 教授 川端 昭

論文内容の要旨

本論文は極低温における絶縁薄膜にみられるトンネル効果と、その半導体物性解析への応用、および超電導を利用したヘリウムの液面計に関する著者の研究結果をまとめたもので、5章より成る。

第1章では、トンネル効果における電流電圧特性の解析結果を、Al—Al₂O₃—Al系トンネル接合に関する著者の実験結果と比較して述べてある。トンネル電流の電圧特性は、印加電圧の低い領域ではオーム性を示し、印加電圧の高い領域では Fowler-Nordheim 特性を示すことが知られているが、著者は中間電圧領域における特性を電圧の奇数乗項のみよりなる級数で展開し、実験結果と比較することにより、5乗の項までとれば近似がじゅうぶんであることを示し、かつその係数の値を算出している。

第2章と第3章はそれぞれ半導体 Te の蒸着膜、および Al—Al₂O₃—Te系トンネル接合に関するものであるが、第2章では真空蒸着法による Te 膜の物理的性質に関する研究結果を述べている。まず、Te 蒸着膜は基板温度が低い場合にはその c 軸方向が板面に垂直方向に向きやすく、基板温度が高い場合には板面に平行に向きやすいことを X線回折法などにより確かめ、その電気的性質については、導電型は p 型であるが単結晶にみられるような 200°K における Hall 反転が見られないこと、Hall 移動度の温度特性およびキャリア濃度依存性より、室温以下の伝導には主として格子欠陥による散乱がきいていることを示し、さらに電気的特性に対する蒸着時の基板温度の影響、および膜厚の影響などについて論じている。

第3章では Al—Al₂O₃—Te系トンネル接合の電流電圧特性を液体ヘリウム温度で測定し、トンネル抵抗が大きい場合には、特性に Te のバンド構造の影響が現われることを示し、測定の精度をあげてその特性に現われる微細構造を求め、推定される Te のエネルギー準位図を参考にしながら、測定結果と Te のバンド構造との関連性を論じている。またトンネル抵抗が小さい場合には、特性に零バイアス異常および 35mV 間隔の小さい周期的構造が現われることを見出し、零バイアス異常は Te の横方向音響モードのフォノンとの相互作用により、35mV 間隔でみられる周期的構造は、Te の縦方向光学モードのフォノンと

の相互作用のもとに、正孔が非弾性トンネル遷移をすることによって生じるものと推定している。

第4章と第5章は、極低温の実験にしばしば必要になるヘリウム液面計に関するもので、抵抗体に発生するジュール熱に基づく超電導—常電導転移を利用したヘリウム液面計について述べてある。第4章ではマンガン線抵抗体とし、60%の Sn を用いた Pb—Sn ハンダを超電導体として用いた液面計を試作し、その特性を理想化した液面計の特性と比較することによって、感度のよい液面計、すなわち出力電圧と入力パワーの比の大きい液面計をうるための、材料上および構造上の必要条件について検討を加えている。

第5章では、第4章に扱ったヘリウム液面計と同じ原理に基づく、薄膜型の液面計について述べてある。著者は第1章および第3章において、それぞれ金属—絶縁物—金属系および金属—絶縁物—半導体系のトンネル接合を扱っているが、これと同様な構造をもつ金属—絶縁物—超電導体系の薄膜化ヘリウム液面計をつくることにより、第4章で検討した必要条件を満足させることが可能であることを指摘し、抵抗体として Al 薄膜、絶縁薄膜として SiO₂ 蒸着膜、超電導体として Pb 蒸着膜を用いたヘリウム液面計を試作してその特性を調べ、所期の目的を達することが可能なことを示している。

論文審査の結果の要旨

本論文は絶縁薄膜によって隔てられた二つの電極よりなる金属—絶縁物—金属系接合、または金属—絶縁物—半導体系接合において、極低温でみられるトンネル効果とこれを用いたトンネル分光学に関する研究結果、ならびに極低温の実験研究に必要なヘリウム液面計を金属—絶縁物—超伝導体系の接合によって実現するための基礎研究の結果をまとめたものである。金属としては主として Al を、絶縁物としては Al₂O₃ または SiO₂ を用い、半導体としては Te の蒸着膜を、超伝導体としてはおもに Pb の蒸着膜を用いて実験を行なっているが、得られた成果のおもなものはつぎのとおりである。

1. 金属—絶縁物—金属系トンネル接合を流れるトンネル電流の電圧特性は低電界領域ではオーム性を示し、高電界領域では Fowler-Nordheim 特性を示すことが知られているが、著者は中間電界の領域における電流を電圧の奇数乗項のみよりなる級数で展開し、Al—Al₂O₃—Al 系接合を用いて行なった著者の実験結果と比較して、5乗の項までとればじゅうぶんな近似が得られることを示した。

2. Al—Al₂O₃—Te 系トンネル接合の研究の前段階として、まず Te 蒸着膜の製法と得られた膜の性質に関する研究を行ない、Te 蒸着膜は基板温度が低い場合にはその c 軸方向が板面に垂直方向に向きやすく、基板温度が高い場合には板面に平行に向きやすいことを見出した。また膜の電気的性質が単結晶のそれとは著しく異なり、単結晶でみられるような 200°K における Hall 反転が認められず、Hall 移動度の温度依存性も単結晶のそれとは逆になることなどから、室温以下の伝導には主として格子欠陥による散乱がきいていることを示した。

3. Al—Al₂O₃—Te 系トンネル接合の特性を液体ヘリウム温度で測定し、トンネル抵抗の高い(～100 kΩ) 場合には、その電流電圧特性に Te のバンド構造の影響が現われることを見出し、測定方法を工夫してその精度をあげ、電流の電圧に対する微分値 dI/dV の電圧特性に現われる微細構造を求め、これを Te のバンド構造と対応させて論じた。

4. トンネル抵抗の低い(～数k Ω) Al—Al₂O₃—Te 系接合では、dI/dV の電圧特性に零バイアス異常(印加電圧が20mV以下の低電圧領域でdI/dVが電圧に対して大きく変化する現象)が現われると同時に、35mV間隔の小さい周期的構造が現われることを見出し、これらをそれぞれTe中の横方向音響モードのフォノンおよび縦方向光学モードのフォノンとの相互作用に基づくものと推論した。

5. 従来用いられている超電導を利用したヘリウム液面計の性能を改善することを企て、出力電圧と入力パワーの比の大きい液面計をうるための材料および構造上の必要条件について検討を加え、この条件をみたすものとしてAl—SiO—Pb系薄膜型ヘリウム液面計を試作してその特性を調べ、性能の優れたヘリウム液面計をうる事が可能であることを実証した。

以上要するに本論文は極低温におけるトンネル効果と、これを利用したトンネル分光学の半導体物性の研究への応用、ならびに薄膜化によるヘリウム液面計の改良に関するもので、その成果は学問的にも実用的にも貢献するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。