

氏名	石田興太郎 いしだこうたろう
学位の種類	理学博士
学位記番号	論理博第316号
学位授与の日付	昭和45年5月23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	<b>Inelastic Scattering of Fast Electrons by Crystals</b> (結晶による高速電子の非弾性散乱)

論文調査委員 (主査) 教授 浅井健次郎 教授 松原武生 教授 田中茂利

### 論文内容の要旨

高速電子線が結晶において回折するとき、電子の非弾性散乱により種々の興味ある現象がみられる。特に入射電子が結晶格子面でブラッグ反射を起すとき、電子の吸収係数が減少することは異常透過として注目されている。これまで高速電子の固体内でのエネルギー損失の研究を行ってきた申請者は、この異常透過に興味をもち、その原因となる非弾性散乱過程の研究を行なった。

通常、異常透過は、散乱ポテンシャルを複素関数とおき、これによるブラッグ反射を考慮することにより説明される。ポテンシャルの複素成分は入射電子による結晶状態の励起を摂動計算することにより導かれる。申請者はまずこの複雑な吸収係数の計算を単純化することを一つの目的とし、現象論的な理論を展開した。それによれば、結晶の基底状態から励起状態への遷移確率を求め、ポテンシャルの複素数表示を経ることなく、直接に電子吸収係数の表式を計算した。この計算によれば、種々の非弾性散乱過程を、ただ、その相互作用ポテンシャルによる遷移確率として考慮すればよく、実験データを現象論的に扱うのに便利な表式である。

この結果を二波近似(ただ一つのブラッグ反射が起るという近似)のもとで計算すれば、吸収係数はブラッグ反射条件に依存し、その依存のしかたは複素ポテンシャルを用いた計算結果と一致する。さらにこの近似のもとで、弾性散乱電子、非弾性散乱電子の強度を計算し、その結果をくさび形をした結晶の電子顕微鏡像の解析に適用した。

すなわち実験にあたって、まずエネルギー分析装置を使用し、電子顕微鏡像をつくる電子の速度分析を行なった。くさび形をしたアルミニウム単結晶について、通常の電子顕微鏡像、および殆んどエネルギーを失っていない電子像の強度分布を求めた。結果の解析にはすでに行なわれている平均吸収係数、異常吸収係数の求め方(高良・渡辺による方法)に従い、その上でエネルギー測定範囲を拡げることにより、精度の高い吸収係数の値を求めた。弾性散乱電子のみによる電子顕微鏡像の強度分布から求めた、平均吸収係数・異常吸収係数の比は0.2であり、これは通常の電子顕微鏡像における比0.5に較べて小さいという事

実を得た。この相違は通常の電子顕微鏡像においては非弾性散乱電子の回折効果が考慮されていないためである。

さらに弾性散乱電子像における吸収係数を、前半に求めた現象論的理論により説明し、種々の散乱過程の平均自由行程を求めた。特に格子振動の励起確率を考慮すれば、弾性散乱電子像の吸収係数は実験値とよく一致し、通常の電子顕微鏡像から求めた吸収係数は固体電子プラズマ励起、バンド間遷移等を考慮すれば説明できることが明らかにされている。

### 論文審査の結果の要旨

高速電子が結晶において回折するとき、電子の非弾性散乱の結果、異常透過現象がみられる。通常、異常透過現象は散乱ポテンシャルを複素数とおき、これによるブラッグ反射を考慮することにより説明されている。この複素ポテンシャルは結晶内電子状態の励起を摂動計算することにより導かれる。申請者はこの複雑な吸収係数導出を簡単化するため現象論的な理論を展開した。それによれば結晶の基底状態から励起状態への遷移確率を求め、ポテンシャルの複素表示を経ることなく直接吸収係数を計算できる。この表式によれば種々の非弾性散乱過程を、ただその相互作用ポテンシャルによる遷移確率として考慮すればよく、実験結果を現象論的に扱うのに便利である。

この計算においては、一応、非弾性散乱波の強度が弾性散乱波の強度に較べて小さいという仮定をおいている。これは薄い結晶においてのみ成立するもので、実際の現象に適用する場合に一つの制約となる。また多重散乱の効果も無視してある。しかしこの二つの仮定は問題解決にあたり、数学的困難を避けるためのものであって、申請者が論じているように、この理論を拡張することにより多重散乱の効果を取り入れることが可能である。将来この多重散乱の効果を取り入れ、精密化が行なわれると、現象論的理論としての有利さもあり、一層興味深いものとなるであろう。

一方くさび形をした結晶の電子顕微鏡像から求めた平均吸収係数 $\mu$ 、異常吸収係数 $\Delta\mu$ の値が理論値と非常に異なることは既に知られており、超高圧電子顕微鏡の有用性からんでしばしば議論されてきた。事実理論的予測の2~3倍の異常吸収係数が測定では得られる。申請者はこの原因を究明するためアルミニウム単結晶について実験を行ない、前記理論を適用して結果の解析を行なった。すなわち、次の四種の非弾性散乱過程に注目して、その各々の効果を検討した。i) 格子振動の励起、ii) プラズモンの励起、iii) バンド間遷移、iv) 装置によるものであるが、電子顕微鏡の対物絞りによる見掛上の吸収。

その結果通常の電子顕微鏡像から得られる異常吸収係数 $\Delta\mu$ の理論値からのずれはii)のプラズモンを励起した電子の結像のためであることを示した。さらにi)の格子振動励起、ii)のプラズモン励起の確率(または平均自由行程)を実験的に求め、それが理論値とよく一致することを示した。iii)、iv)の過程については尚不明な点があり、今後の研究にまつところが多い。

薄い結晶に対する解析に当っては、申請者の展開した非弾性散乱の理論が有用さを示している。同時に通常の解析方法で得られる平均吸収係数、異常吸収係数に対する不明な点を解決することができ、さらにいくつかの非弾性散乱過程の平均自由行程を求めている。このことは未解決の問題が残っている異常透過現象の解明のため寄与するところが少なくない。

参考論文4編は固体における高速電子エネルギー損失に関するもので申請者の優れた研究能力を示すものである。

よって、本論文は理学博士の学位論文として価値あるものと認める。