

論文審査の結果の要旨

氏名 近藤 力

本論文は、放射線医学総合研究所の重イオン加速器を用いて、核子あたり約400MeVの高エネルギーのアルゴンイオンを厚さ1 μm のシリコン単結晶に打ち込むことにより、世界で初めて非チャンネルリング条件におけるコヒーレント共鳴励起の観測に成功した成果をまとめたもので、6章からなる。

第1章では、これまでの研究の背景と本研究の目的・意義が述べられている。結晶中をイオンが通過すると、イオンは結晶原子の電場を周期的な振動電場として感じる。その振動数が、イオンの励起振動数に一致すると、イオンが励起する。この現象をコヒーレント共鳴励起(Resonant Coherent Excitation: RCE)と呼ぶ。一般的には、イオンは結晶原子との衝突による励起や電離も起こすため、RCEが観測できるためには、チャンネルリング条件を満たすことが必要と考えられてきた。ここでチャンネルリングとは、イオンが結晶軸や結晶面に沿った隙間(チャンネル)に沿って、結晶原子とほとんど衝突することなく進行する現象である。しかし、高エネルギー重イオンを薄い結晶に打ち込めば、衝突に伴う電離等が抑えられるため、非チャンネルリング条件であってもRCEは観測できるであろうという、本研究の着想が示されている。

第2章はチャンネルリング及びコヒーレント励起共鳴の理論的基礎のレビューである。特に結晶面の隙間をチャンネルリングしつつRCEを起こす場合について詳しく述べた後、イオンの進行方向を結晶面に対して傾けてチャンネルリング条件からずらしていった場合の共鳴条件について述べている。

第3章は実験の詳細に関する記述である。核子あたり391MeVに加速したAr¹⁷⁺イオンを、縦横幅を絞った細い平行ビームとして、厚さ1 μm のシリコン単結晶に打ち込む。結晶はx,y,zの3軸を精密な角度で設定できるゴニオメーターに取り付けておく。RCEが起きてイオンが励起されるとイオン半径が増加するため、別の原子に衝突した際にイオン化されてAr¹⁸⁺になる確率が増える。そこで結晶の下流に磁石を、更に下流に位置測定可能なイオン検出器を置いてAr¹⁷⁺・Ar¹⁸⁺を同定し、結晶を回転しながら(すなわちイオンが感じる振動電場の周期を変化させながら)Ar¹⁷⁺とAr¹⁸⁺の収率を比較すると、RCEの共鳴条件を満たしたところでAr¹⁷⁺の生き残り率が減少する。これがRCE検出の原理である。

第4章では、面チャンネルリング条件を満たす場合(ビームを結晶面(220)に平行に入射)の測定結果が示されている。結晶面に垂直な軸のまわりに結晶を回転させると、Ar¹⁷⁺が基底状態(1s)から2p_{3/2}と2p_{1/2}の二つの励起状態へのRCEに対応する回転角のところに、幅の広いディップ(Ar¹⁷⁺の生き残り率の

減少)が見られた。これは、従来から知られているように、イオンの電子状態が結晶電場によって、DCシュタルクシフトを起こしているためである。すなわち、面チャンネルリング条件下では、イオンは結晶の作る振動電場に加え、結晶面に垂直な電場をDC的に受け続ける。イオンが面間の中心を走れば上下の面からの電場成分は打ち消すが、イオンの軌道がどちらかの面に近ければ打ち消しは起こらず、DCシュタルク効果によってイオンのエネルギー準位が分裂・シフトする。この準位を反映し、ディップは幅広になるのである。

第5章では、結晶面のビームに対する傾き角を増加させつつ(すなわちビームが(220)結晶面を横切るようにして)非チャンネルリング条件下でのRCE探索を行った結果が示されている。第2章にて理論的に予想された回転角のところにディップが見られ、非チャンネルリング条件であってもRCEが観測できるであろうという予想を裏付ける結果となっている。しかも、観測されたディップは、第4章で示されたチャンネルリング条件を満たす場合のディップよりも鋭かった。その理由について、本論文では次のように論じている。

非チャンネルリング条件の場合、イオンは結晶面を次々と乗り越え、乗り越えの前後で電場の方向が逆転するため、結晶面からの電場を振動電場として感じるようになる。これがRCEのシフトや幅に与える影響(ACシュタルク効果)を定量的に見積もると十分に小さいことが示され、非チャンネルリング条件下でのディップが細い理由が理解された。

第6章では、非チャンネルリング条件でも、高エネルギー重イオンと薄い結晶を用いればRCEが観測できることが実証できたという結論が述べられている。

この研究は、従来チャンネルリング条件が観測の必要条件と考えられていたRCEを非チャンネルリング条件に一般化したもので、高く評価できる。研究は東俊行、畠山温、真杉三郎、中野祐司、小牧研一郎、山崎泰規、高田栄一、村上健の各氏との共同研究であるが、データ収集、データ解析及び解釈に関して、論文申請者本人の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士(理学)の学位を授与できると認める。