

## 第5章 結論

酸化物超伝導体における高エネルギーイオン照射効果は、入射イオンとターゲット原子との弾性衝突過程により原子変位を起こすだけでなく、高密度電子励起を介して原子変位を起こすので現象としては複雑であるが、今まで知られていない物理現象への期待感から多くの研究者の興味の対象となりつつある。これまでは、高密度電子励起を介した欠陥生成は単純に電子的阻止能に支配されていると考えられてきたが、本研究による $\sim 1\text{MeV}$  から数 GeV の広いイオンエネルギー範囲にわたる系統的な照射効果測定の結果その認識を修正する必要性がでてきたと言える。

以下に第2章、第3章の研究から新しく分かったことを述べる。

$\sim 1\text{MeV}$  の低エネルギーイオンの照射については、 $S_n$  に linear に依存する欠陥生成が観測され、弾性的はじき出しが欠陥生成を支配していることが分かった。ただし、低温で照射を行い精密に電気抵抗率変化のその場測定を行った結果、わずかな PKA 依存性が観測され、PKA エネルギーの増加に伴い  $S_n$  に対する比例関係からのずれが観測された。しかしながら、これらの低エネルギーイオン照射の結果はすべて弾性衝突を起源とした原子のはじき出しの枠内で説明できる。

$\sim 100\text{MeV}$  から数 GeV の高エネルギーイオン照射については、低エネルギーイオン照射効果とは異なり、電子励起を介した欠陥生成が照射効果の大部分を占めることになる。電子励起を介した欠陥生成は電子的阻止能に支配されていると考えられてきたが、電子的阻止能だけでは欠陥生成を記述することが出来ず、同じ電子的阻止能で速度が遅いイオンを照射すると照射効果が大きい傾向があることが分かった。電子励起を介した欠陥生成を記述するスケールパラメータとして電子的阻止能よりはるかに初期イオン化率が適しており、あらゆる照射効果の側面が初期イオン化率によって整理されることがわかった。精密な測定の結果によって、より定量性のある欠陥生成過程についての議論が可能になったといえる。高エネルギーイオン照射した酸化物超伝導体における初期イオン化率に支配される欠陥生成過程として今のところ最も有力なモデルは、イオン化されたターゲット中の原子同士がクーロン反発によって運動エネルギーを得るというクーロン爆発モデルである。

また、これまで電子励起を介して生成された欠陥構造に関してはアモルファス領域のみだと考えられてきた。しかし、その領域の周りにも電子顕微鏡では観測されない電気抵抗の高い欠陥領域が存在することが明らかになり、さらにその特徴的寸法を見積もった。その「アモルファス化していない欠陥領域」は 100K から室温程度の低温でも消滅してしまう欠陥も含んでおり、その「不安定欠陥領域」の割合はやはり初期イオン化率に依存し、初期イオン化率の減少に伴いその割合が増加するという特徴をもつことが分

かった。さらに、高エネルギーイオン照射による超伝導特性を含めた輸送特性変化や格子定数の変化等の照射効果が酸素欠損の生成で説明できることを明らかにした。

イオン照射による電子励起を介して生成された欠陥は柱状欠陥と呼ばれ、磁束ピンニングセンターとして強く働くという別の物理的側面を持っている。電子励起を介した欠陥生成過程への理解が深まることによりその柱状欠陥の形態を制御することが可能になり、新しい視点からの磁束ピンニング研究を展開することが期待できる。第4章では低温照射、高磁場下輸送特性「その場」測定が可能なクライオスタットの製作を行い、アモルファス領域の割合が多い200MeV Auを酸化物超伝導体に照射することで照射欠陥と磁束との相互作用について研究について記した。c軸の周りに照射方向を分散させずにc軸に対して傾けた角度から照射するのみだと、その照射方向に磁場が平行なときに電流密度の向上が顕著に観測される。c軸の周りに照射方向を分散させてスプレー配置の柱状欠陥を導入したときにおいては、c軸方向に磁場をかけたときに最も顕著に電流密度の向上が観測された。c軸に対して $+15^\circ$ 傾いた方向と $-15^\circ$ 傾いた方向に向いた柱状欠陥の臨界電流密度向上に対する寄与をそれぞれ定量化した。その足し合わせとスプレー照射効果を比較することにより、照射方向を分散（スプレー）させることに固有な臨界電流密度  $J_c$  向上の効果が存在し、その効果が  $-15^\circ \leq \theta_{\text{mag}} \leq +15^\circ$  の磁場角度範囲において現われることが分かった。

本研究は、酸化物超伝導体において $\sim 1$  MeV から数 GeV にわたる広いエネルギー範囲のイオンを照射したときの欠陥生成過程、欠陥構造、さらにその結果としての物性変化を統一的に議論したものである。弾性的はじき出しによる欠陥生成は比較的単純であるが、電子励起を介した欠陥生成過程は複雑でその欠陥生成に起因する物性変化は様々な形であらわれる。しかしながら、初期イオン化率というスケーリングパラメータを得ることにより、その照射効果をきれいに整理することが出来、さらに欠陥生成過程を半定量的に議論できるまでになった。本研究により電子励起を介した欠陥生成過程に対する理解が深まり、また、本研究を基盤として照射欠陥と磁束との相互作用の研究が発展することが期待される。