

審査の結果の要旨

論文提出者氏名

小川 直毅

低次元金属においては、低温で電荷密度と結晶格子に周期的変調が生じ絶縁体化する現象が知られており、これを電荷密度波と呼ぶ。結晶格子が完全である場合には、電荷密度波は並進対称性によって結晶中をエネルギー散逸無く運動する(電気抵抗ゼロ)と期待されるが、現実には結晶中に必ず存在する欠陥などによってその運動はピン止めされている(絶縁体)。電場によって駆動される電荷密度波は、周期的弾性体がピン止めポテンシャルの影響を受けながら運動するという、現実の世界で見られる散逸を伴う多くの現象の一典型であり、特に静摩擦から動摩擦への移り変わりに比較される電流/電圧特性の強い非線形性や履歴現象を示す。本論文は、電荷密度波の電流/電圧特性が光励起によって大きく変化する現象を発見し、この現象を用いて電荷密度波の低温での基底状態の動的振舞いが、電荷密度波の塑性変形によって統一的に理解できる事を示したものである。

本論文は全7章よりなる。

第1章では、研究の背景となる電荷密度波の全般的な概説を行い、特にこれまで提出されているピン止めと電荷密度波の相互作用の様式について述べている。また、実験で用いられた電荷密度波物質ブルーロンズ $K_{0.3}MoO_3$ の構造と物性を概観している。

第2章では、本研究で発見された光励起効果について実験事実が詳述されている。まず、電流/電圧特性が従来報告されている通り、非常に強い非線形伝導を示す低電圧領域、高い伝導度を示す高電圧領域、その間を結ぶスイッチング領域からなりスイッチング領域では履歴現象が見られることを示した上で、微弱な連続光照射によって、低電圧領域における光強度に比例した電流増加とスイッチング電圧 V_s の高電圧へのシフトが示されている。さらに V_s のシフトにはメモリー効果があり、光照射を止めた後でも見られる事、光励起効果はフォトンのエネルギーがパイエルスギャップ以上であるとき、すなわち電荷密度波状態へ凝縮した電子を準粒子へと励起する場合にのみ見られる現象であることを示している。またメモリー効果を使って実際にデータの記憶ができること、光照射が試料の全面ではなく極く一部でも効果があることが示されている。これらの実験事実は、以下の章で展開される解析や発展実験の基礎をなしている。

第3章では、数値積分により電流/電圧特性の解析を行ったことが述べられている。数値解析は低電圧領域においてデータを非常に良く再現した。このことは、低電圧領域が格子欠陥を次々生み出しながら電荷密度波が移動していくという塑性変形モデルを強く支持するものであり、さらにスイッチングが塑性変形の生成速度が電荷密度波の移動速度に追いつかなくなったことによる停止部分からの切断であることを示唆するものである。

第4章は、前章で提案された描像を確かめるためにフォトンファクトリーで行った高精度X線回折実験について述べられている。この実験によって、通電により格子の塑性変形と乱れが誘起される事、その塑性変形の一部が光照射によって回復するが乱れの程度には大きな変化が無いことが明白に示され、光照射効果が塑性変形の回復あるいは電荷密度波格子に生

じた格子欠陥の修復にあることが確かめられた。

第5章では、光照射によって欠陥の修復された同一の初期条件から出発した場合の電流/電圧特性のダイナミクスを明らかにしている。特にパルス光照射後にスイッチングが発生するまでの振舞いを、塑性変形の蓄積と静止部分からの切断というモデルで解析し、統一的に説明できる事を示している。

第6章では、塑性変形の領域を確定するために薄膜試料を作製しその特性を測定したが、輸送測定法のスケールが薄膜の結晶粒サイズに及ばなかったために、確定的な結論に到らなかった経緯が述べられている。

第7章は結論である。

本論文には2つの補章が設けられており、付録AではX線回折実験における衛星反射と電荷密度波の関係が、付録Bには、第5章で示されたデータに対するモデルを示し、その数値計算例が示されている。

以上を要するに本論文では、電荷密度波における光励起効果を詳細に調べてその起源を明らかにするとともに、この現象を利用して、低温において電荷密度波が示す強い非線形・履歴性輸送現象が、電荷密度波の周期構造の塑性変形に由来するという事を幅広い実験によって示した。さらに、このような摩擦的履歴現象が記憶素子として有用であることを示した。

これらの点で、本研究は物性物理学、物理工学の進展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。