

論文題目要旨

学位申請者：藤原 浩司

論文題目：Studies of Shapiro Steps in Charge Density Wave State of NbSe₃ Thin Films Induced by Surface Acoustic Waves

(電荷密度波物質 NbSe₃ 薄膜における表面弾性波誘起シャピロステップの研究)

論文要旨：

電子格子相互作用が強い低次元導体では、電荷密度波 (charge density wave: CDW) と呼ばれる電子密度の周期的な構造が現れる。CDW 状態の電子は電場によって駆動され、そのダイナミクスは興味深い現象として注目されてきた。特に交流電場下で電流-電圧特性に現れるシャピロステップは、CDW と外場の同期現象として知られている。

CDW においてさらに興味深い点は、電子系と格子系の相互作用が存在することである。例えば電場によって駆動された CDW の運動によって、試料の弾性定数の変調や、機械的な歪みが生じる。逆に CDW 物質に外場として歪みを印加することで、CDW の運動が変調を受けることも明らかになってきた。従来は交流電場によって誘起されるシャピロステップが、時間振動する歪みを試料に加えた場合でも同様に観測されることが近年報告され、機械誘起シャピロステップに関する理論研究も行われている。しかし、歪みによってシャピロステップが生じるメカニズムは未解明な部分が多い。

そこで本研究では、表面弾性波 (surface acoustic wave: SAW) によって駆動される CDW ダイナミクスに着目した。SAW とは、歪みの波が固体表面を伝わる現象であり、圧電基板上の楕型電極 (IDT) に MHz ~ GHz 帯域の交流電場を印加することで励起できる。格子変形を伴う SAW によって、CDW 状態の電子を駆動し、シャピロステップが誘起されると期待される。圧電基板 LiNbO₃ 上に IDT と、CDW 物質 NbSe₃ 薄膜デバイスを作製し、NbSe₃ 薄膜に約 300 MHz の SAW を照射した。CDW 転移温度以下で NbSe₃ 薄膜の微分抵抗を測定したところ、SAW によって誘起されたシャピロステップを観測した。圧電効果による電場の大きさを計算によって求めると、SAW に伴う電場ではなく歪みがシャピロステップを引き起こしていることがわかった。さらに対照実験として従来の交流電場によるシャピロステップの測定を行ったところ、SAW によるシャピロステップでは交流電場とは顕著に異なる振る舞いが観測された。

本研究は、圧電基板上の SAW によって CDW を駆動できることを実証した最初の例である。また、SAW が CDW の運動に与える影響が、交流電場とは本質的に異なることが示された。これは機械的振動と CDW の運動との相互作用を理解する上で重要な成果である。さらには、CDW の電气的自由度と機械的自由度を結びつけた新奇な SAW デバイスへの応用にも繋がりをうめるものである。