

## 光起電力の新しい量子力学的描像「シフト電流」

小川直毅<sup>†</sup> 〈理化学研究所創発物性科学研究センター naoki.ogawa@riken.jp〉

五月女真人 〈理化学研究所創発物性科学研究センター masato.sotome@riken.jp〉

中村優男<sup>†</sup> 〈理化学研究所創発物性科学研究センター masao.nakamura@riken.jp〉森本高裕<sup>†</sup> 〈東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻 morimoto@ap.t.u-tokyo.ac.jp〉

光起電力は現代社会に欠かすことのできない応用物性であり、太陽電池から各種光センサーまで広く利用されている。その歴史は長く、半導体p-n接合やショットキー接合に代表される“界面”の光起電力は180年ほど前から知られている。一方、1960年前後に空間反転対称性の破れた“バルク結晶”における光起電力が見出され、古典描像では説明できない巨大な起電力と特異な励起波長/偏光依存性を示すことから「異常光起電力効果」と呼ばれてきた。

近年、我々の理解が進み、この異常光起電力の起因が、光励起に際した電子雲の実空間変位（シフト）であることが明らかとなったため、「シフト電流」へと改称されつつある。物質中の電子による誘電分極は、現代的な観点では、波動関数の量子力学的位相（ベリー位相）により表現される。シフト電流はその光学遷移前後の変化に対応し、始状態（価電子帯）と終状態（伝導帯）のベリー位相の差によって発生していると捉えることができる。このベリー位相差は、理論的に電子雲重心の実空間シフトと同義であり、光学遷移の時間スケールで光電流が駆動されることになる。

最近私たちは、各種強誘電体で観測される光電流が、主にシフト電流に起因していることを、分光実験と理論計算の比較により明らかにした。

通常、光起電力や光電流は試料に金属の電極を用意して配線を行い、増幅器等の電

子回路を介して、オシロスコープや電圧/電流計で計測されている。しかし、シフト電流の本質的な高速性により、そのダイナミクスを明らかにするためには別の実験手法が必要となる。反転対称性の破れた試料にパルス光を照射した際には、パルス状のシフト電流が発生し、この短時間の電荷運動は電磁波を放射する。この電磁波を定量的に検出することにより、電極や測定回路に依存しない、非接触での超高速光電流測定が可能となる。これはテラヘルツ放射光と呼ばれる計測法の一つである。

また近年では、バンド構造の第一原理計算からシフト電流の励起スペクトルが定量的に予測できるようになっている。これら実験と計算を比較することにより、シフト電流の励起ダイナミクス、またベリー位相への依存性が理解できるようになってきた。

シフト電流は一種の分極電流であり、指向性を持ち、ボルツマン輸送理論で記述される通常の散逸電流とは質的に異なった性質を示す。量子力学的位相が観測値に現れるという点も興味深い。シフト電流は電流源とみなすことも可能であり、発生する起電力の大きさは試料の内部抵抗の関数となるため、物質のバンドギャップには制限されない。その超高速性、さらには赤外波長域での高効率光検出法としてなど、シフト電流は基礎/応用両面から大きな注目を集めている。

## —Keywords—

## シフト電流：

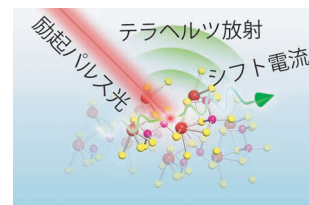
物質の光励起に際して、電子雲の重心が実空間シフトすることにより発生する電流。その起因は光励起に伴うベリー位相変化にある。

## ベリー位相：

物質中の電子を記述するブロッホ波動関数が示す幾何学的位相。異常ホール効果や誘電分極などの起因になる。

## テラヘルツ放射分光：

サブピコ秒のパルス光を試料に照射し、発生したテラヘルツ周波数領域の電磁波を検出する分光法。光電流、光整流効果、相転移など、幾つかの放射機構が知られている。



<sup>†</sup> 科学技術振興機構さきがけ