

単一電子精度での有限周波数電流計測の実現

産業技術総合研究所 物理計測標準研究部門 研究員 岡崎 雄馬

半導体微細加工技術によって作られる単一電子素子を用いると、電流の最小単位である電子を1個ずつ電氣的に制御・計測することが可能になります。このような単一電子制御・計測技術を利用することでフェムト (10^{-15})、ピコ (10^{-12}) アンペアといった従来の電気測定装置では測定の難しかった極微小電流を極めて高い精度で計測できるようになると期待されます。しかし、このような単一電子素子を用いた電流計測技術の実現には、素子作製ならびに制御方法を確立するための基礎研究が必要になっています。

これまでは、電子1個1個を周期的にポンプすることによって直流電流を発生させることが主な研究対象でした。本研究では、新規に考案した駆動方式である単一電子デジタル変調技術によって、従来の単一電子制御方式では不可能だった有限周波数電流の制御技術を実現します。有限周波数電流の発生には、単一電子のポンプ動作をON/OFF制御するデジタル変調をかけて単一電子のパルス密度を時間的に変調させる必要があります。このような単一電子レベルでのデジタル変調は、我々が考案した新規の制御方式であり、動作原理の実証と性能評価を行うことが本研究の最終目的です。これまでに行った予備実験において動作原理の一部の検証を行いましたが、動作速度が数10 MHz程度と低速であり発生できる電流がピコアンペア程度と小さいものでした。本研究では、この課題を克服するために(1)単一電子制御速度を向上させることと、(2)電流精度を劣化させる要因である単一電子の制御エラーを評価することの2つを計画しています。本研究により1 GHz程度まで動作速度を向上した単一電子の制御ができれば、電気化学計測やナノデバイスの測定で対象となるフェムトから数百ピコアンペアの電流生成が実現され、微小電流計測が重要となる材料の評価やナノ領域での物性現象の解明、新材料開発などへの貢献が期待されます。

【将来実用化が期待される分野】

本研究によって微小電流の精密測定技術が発展することで、半導体デバイス・医療・環境分野における新規材料の開発や計測応用への波及が期待されます。具体的には、微小電流測定を用いた(1)高絶縁材料の絶縁特性評価、(2)がんの治療で用いられる医療用放射線の線量の測定、(3)環境測定などで重要となるナノ粒子数の精密測定などがあげられます。さらに、精密な微小電流(特に有限周波数電流)の測定はナノ構造における電子物性の解明をはじめとした物性物理・ナノテクノロジー関連の実験研究でも重要な実験手法であり、測定技術の向上による新規学術分野の開拓など学術的な波及効果も期待されます。