

課題名： 固体素子における非平衡多体系のダイナミクス

氏名： 小林研介

機関名： 大阪大学

### 1. 研究の背景

現在、強相関量子科学・スピントロニクス・量子情報技術などの研究分野では、多体量子効果を積極的に利用した次世代素子の研究が活発に進められている。これらの次世代素子は、既存の半導体素子とは異なる特色を持ち、機能・消費電力の両面でグリーン・イノベーションに大きく貢献すると期待されている。一方、一般に、トランジスタのような能動素子を実現するには、系の平衡状態だけでなく、非平衡状態に対する定量的な理解が必須である。実際、今日の半導体技術の成功は、非平衡状態を含めたキャリアダイナミクスの定量的な理解に負うところが多い。また、能動素子の性能を与える信号雑音比は、原理的には素子において発生する非平衡電流ゆらぎによって決まる。しかしながら、次世代素子の母体となる多体量子系において、その非平衡状態を定量的に理解することは、研究者にとって大きな挑戦となっている。

### 2. 研究の目標

本研究は、次世代素子開発の現場で、近い将来、必ず解決を迫られることになる非平衡状態の問題を先行的に扱うものである。その目的は、線形応答理論の限界を超えて、固体素子における非平衡多体ダイナミクスを定量的に明らかにする新しい方法論を創出することにある。

### 3. 研究の特色

本研究の核となるのは、揺らぎの定理である。1950年代に成立した線形応答理論は大きな成功を収めてきたが、それが適用できるのは、系が平衡状態付近にある時に限られている。しかし、近年、非平衡状態においても成立する厳密な関係式が発見された。揺らぎの定理はその代表格であり、これによって、多体効果や量子効果に支配される系のダイナミクスを定量的に記述できるため、今後の物性研究の画期的な新手法になる可能性がある。本研究では、独自に開発した高精度の非平衡電流ゆらぎ測定と、本研究によって開発する高速実時間観測によって、このことを多方面から検証し、非平衡多体ダイナミクスにおける揺らぎの定理の有用性を確立する。

### 4. 将来的に期待される効果や応用分野

本研究は、次世代素子開発に関わる現実的な動機を持ちながらも、一方で、非平衡系における新しい方法論の構築を目的とするものでもある。線形応答理論発祥の地である日本において、独自の高感度な実験技術を用いて実験面から量子力学と統計力学の発展に寄与することによって、広大な未踏研究領域の開拓を行いたい。

# 次世代素子開発とその課題

強相関量子科学  
スピントロニクス  
ナノエレクトロニクス  
分子エレクトロニクス  
量子情報技術 ...

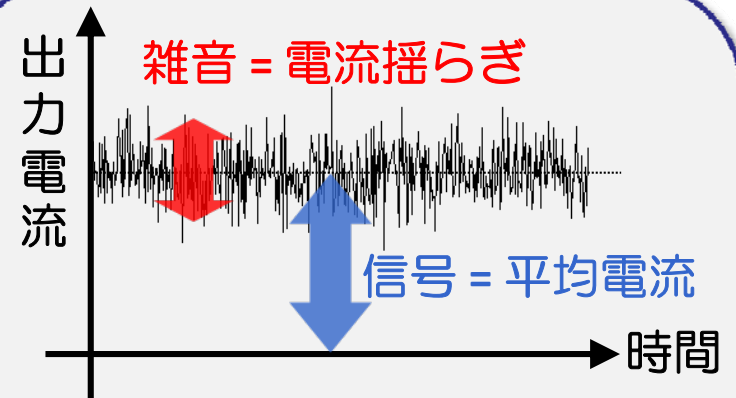
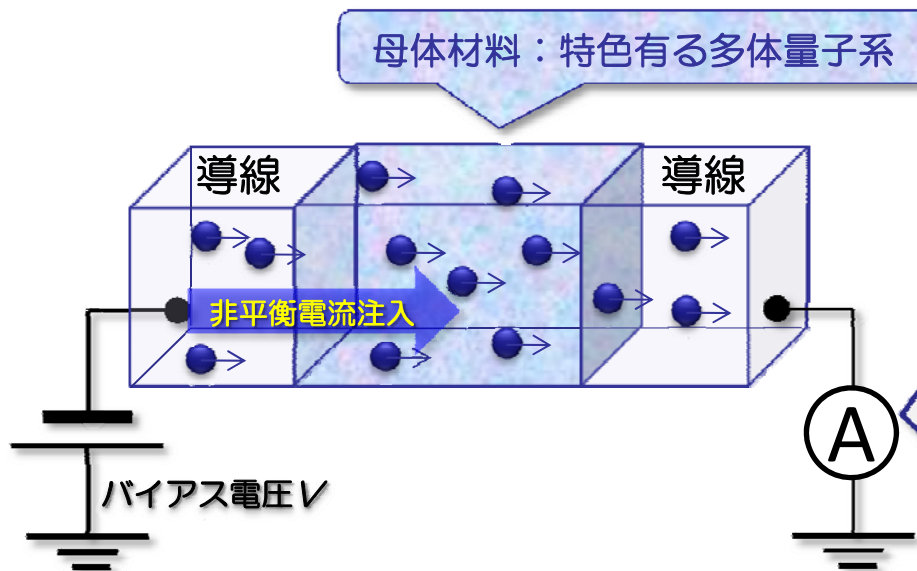
多体量子効果を利用した次世代素子の研究



既存の半導体素子とは異なる特色を持ち、  
グリーン・イノベーションに貢献

課題：非平衡状態をどう理解し制御するか

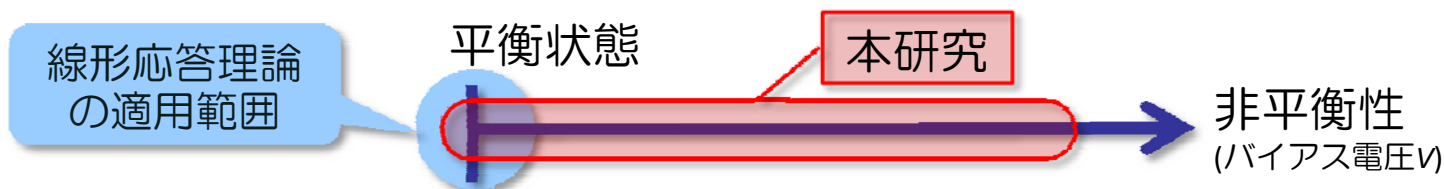
## 次世代能動素子



$$\text{信号雑音(SN)比} = \frac{\text{平均電流}}{\text{電流揺らぎ}}$$

⇒ 素子の原理的なパフォーマンスの  
限界を与える

# 本研究のねらいと内容



非平衡多体ダイナミクスを取り扱う方法論を構築

指針  
揺らぎの定理



手法  
電流揺らぎ測定

## 研究内容

電流揺らぎ測定によって、多体量子デバイスにおける揺らぎの定理の定量的検証。

電子伝導の実時間スペクトロスコーピー手法の開発。