

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： ナノデバイスのピコ秒物理の解析による揺らぎ最小化設計指針の開発

2. 研究代表者名及び主たる研究参加者名(研究機関名・職名は研究参加期間終了時点):

研究代表者

大毛利 健治 筑波大学数理物質系 准教授

主たる共同研究者

白石 賢二 筑波大学 計算科学研究センター 教授

渡邊 孝信 早稲田大学 理工学術院 先進理工学研究科 教授

3. 研究実施概要

微細 Si MOSFET においては、空間的不均一に由来する特性ばらつきや時間的な電流ノイズ等の課題の解決の中で、特にナノ空間におけるピコ秒レベルの物理現象(時間揺らぎ)の本質的な理解を深める必要がある。本研究では、時間的・空間的な微小揺らぎの本質の理解とその抑制を目指して、MOSFET のソース/ドレイン間のキャリア伝導の非平衡状態を理論・実験の双方から詳細に検討し、「静かなトランジスタ」の実現指針を得る。具体的には、以下の3テーマを実験、理論、シミュレーションの各グループで分担・連携し、揺らぎ最小化設計指針を開発する。本研究は3年に及ぶ研究計画として実施する。

- 1) ナノスケールデバイスにおけるピコ秒領域のキャリア伝導観測と解析
- 2) 大規模シミュレーションによるナノデバイス伝導機構の検証と提案
- 3) ピコ秒・ナノスケールの物理の構築とナノデバイス設計指針

4. 事後評価結果

4-1. 研究の達成状況及び得られた研究成果(論文・口頭発表等の外部発表、特許の取得状況等を含む)

Siナノワイヤデバイス構造を対象に、(1)専用プローブ、オンウェハー測定などにより $1/f$ ノイズの特性を従来より2桁以上高精度・高周波領域まで測定可能にし、(2)界面電荷の存在でキャリア離散性に基づくノイズが拡大することを解明した点は評価できる。さらに、ナノ空間における少数電子系の波束化・融合のダイナミクスを解析し、ナノスケールデバイスの本質的で新たな揺らぎを示唆したことは新しい知見である。原著論文 36 件、招待講演 25 件、半導体デバイスの主要学会である IEDM や VLSI Symp.で採択されるなど国内外から注目されている。しかし、3グループの連携に基づく論文発表や知的財産化への取り組みは物足りなかった。

4-2. 研究成果の科学技術や社会へのインパクト、戦略目標への貢献

独自開発プローブで 800MHz、オンチップで GHz 超のノイズ測定が実現できるようになったことは、雑音測定系の高度化の点でインパクトがあり、広く活用できる成果である。また、シミュレーションや理論的な知見が、ナノサイズ・ピコ秒領域の雑音解析という新しい研究領域の深化に貢献した。しかしながら、集積回路システムの微細化限界を突破するための低雑音化設計の提案に結びつくインパクトはまだ見えていない。

4-3. 総合的評価

MOSFET の極限的ノイズ解析において、プローブ測定系の低雑音化・離散性シミュレーション・波束ダイナミクスを組み合わせるというアプローチは非常にユニークではある。しかしながら、揺らぎ最小化設計に資する具体的指針が得られるかは不透明なため、3年計画のフィジビリティスタディとした。このような方針の中で、低雑音プローブの実用化が見えたことや、波束性とキャリア離散性を統括して議論する方向性を示したことは、それぞれ実用的や科学的な面で評価する。今後、本テーマのユニークなねらいとアプローチが世界的に認知され、「静かなトランジスタ」や「Noise Aware Design」の追求が拡大することを期

待したい。