

論文審査の要旨および学識確認結果

報告番号	甲 第 号	氏 名	Wan Mohd Aizuddin Bin Wan Mohamad (ワシ モハマト アイズディン ビン ワシ モハマト)
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 栗野 祐二
	副査	慶應義塾大学教授	博士(工学) 斎木 敏治
		慶應義塾大学准教授	博士(工学) 牧 英之
		慶應義塾大学准教授	博士(工学) 野田 啓
(論文審査の要旨)			
<p>学士(工学)、修士(工学) Wan Mohd Aizuddin Bin Wan Mohamad (ワン モハマト アイズディン ビン ワシ モハマト)君の学位請求論文は「Theoretical studies on device structure and material design for high performance graphene nanoribbon devices and interconnects towards future LSI applications (次世代 LSI 応用に向けた高性能グラフェンナノリボンデバイス・配線のためのデバイス構造および材料デザインに関する理論的研究)」と題し、6章から構成されている。</p> <p>大規模集積回路(LSI)の高速化・高集積化は、IoT (Internet of Things)社会の到来とともに増々重要となっているが、現在の Si 電界効果トランジスタ(Si-FET)と Cu 配線は、それぞれが性能限界に近く、新材料導入が期待されている。炭素の2次元原子状薄膜であるグラフェンは、高電子移動度や高電流密度耐性などで Si や Cu を凌ぐことが報告されている。しかしながらグラフェンは元々バンドギャップがない材料であるため、バンドギャップ導入法が複数提案されてはいるものの、そのどれもがバンドギャップと高速電子輸送とがトレードオフの関係になっている。一方、グラフェンをナノメートル幅配線に適用するには、電気抵抗のさらなる低減が必要であり、インターカレーション等によるグラフェンへのドーピングが望まれるが、インターカレーションしたグラフェンナノリボン(GNR)の構造安定性については全く調べられたことがない。そこで本論文では、バンドギャップ導入と高速キャリア輸送を同時に達成できるチャンネル幅変調構造(Modulation Channel Width, MCW)という新構造グラフェン FET (GFET)を提案し、その性能を理論的に明らかにしている。さらにインターカレーションを施した GNR の構造安定性について理論的に明らかにしている。</p> <p>第1章は、序論であり、現在の LSI における Si-FET および Cu 配線の課題について述べ、それらをグラフェンの適用によって解決できる可能性を示し、本研究の目的を述べている。</p> <p>第2章では、本研究で用いる理論計算法について説明している。</p> <p>第3章では、グラフェンの高速キャリア輸送を最大限に引き出すため、チャンネル幅をソース近傍だけ局所的に狭めた MCW-GFET 構造を提案し、この新構造 FET のモンテカルロシミュレーションを行い、その高速性能を明らかにしている。MCW 構造では、局所的な加速電界によってキャリア速度が大幅に向上し、例えば、2層(1層)グラフェンチャンネル MCW-GFET では、従来型の GFET に比べて、キャリア走行時間で 54%(30%)改善されることを明らかにしている。</p> <p>第4章では、キャリア速度を高いままに維持しながら、バンドギャップを導入する方法として、MCW-GFET のチャンネル幅変調領域を GNR のアレイにする構造を提案している。GNR のバンドギャップは第一原理計算によって求めている。この新構造 FET のモンテカルロシミュレーションから、100 meV のバンドギャップが発現し、キャリアの平均速度は MCW-GFET と比べて遜色ないことを示している。また同じチャンネル長を持つ InP 高電子移動度トランジスタ(High Electron Mobility Transistor, HEMT)と比較しても、キャリア走行時間が 1/3 になることを示している。</p> <p>第5章では、インターカレーションを施した GNR の構造安定性に関して、第一原理および分子動力学計算によって解析している。その結果、構造安定性は GNR の幅に依存することを明らかにしている。これにより最適なインターカレーション率が存在することを理論的に予測している。</p> <p>第6章は本研究の結論であり、本研究の成果を総括し、今後の展望について述べている。</p> <p>以上要するに、本研究は GNR により高速かつバンドギャップを有する新構造トランジスタを提案し、またインターカレーションした配線用 GNR の構造安定性を理論的に明らかにするものであり、半導体デバイス・集積回路分野において、工学上、工業上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			
学識確認結果	<p>学位請求論文を中心にして関連学術について上記審査会委員および総合デザイン工学特別研究第2(電気電子工学専修)科目担当者で試問を行い、当該学術に関し広く深い学識を有することを確認した。また、語学(英語)についても十分な学力を有することを確認した。</p>		