

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 11907 号
------	---------------

氏 名 安西 智洋

論 文 題 目

カーボンナノチューブ薄膜のフレキシブル電子デバイス応用に関する研究

(Study on flexible electron device applications of carbon nanotube thin films)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	大野 雄高
委員	名古屋大学	教授	西澤 典彦
委員	名古屋大学	教授	竹延 大志
委員	名古屋大学	教授	齋藤 弥八

論文審査の結果の要旨

安西智洋君提出の論文「カーボンナノチューブ薄膜のフレキシブル電子デバイス応用に関する研究」は柔軟なウェアラブルデバイスの実現に貢献が期待されるカーボンナノチューブ薄膜を用いて、高移動度なn型薄膜トランジスタおよびその大気安定性の確保を実現するとともに、流体から発電する新たなエネルギーハーベスティングデバイスを創製したものであり、以下の7章により構成されている。

第1章は序論であり、フレキシブル電子デバイスの現状とIoTの浸透に伴うウェアラブルなフレキシブル生体センサの実現に対する期待が述べられた後、カーボンナノチューブ薄膜のフレキシブルデバイス応用の可能性と課題が述べられている。

第2章では、カーボンナノチューブ薄膜トランジスタについて電気的特性と作製技術について述べられている。カーボンナノチューブ薄膜の移動度がナノチューブ同士の接触抵抗で低下すること、従来の溶液法においてはナノチューブの短尺化や分散剤による汚染により接触抵抗が増加することが指摘され、当該研究では浮遊触媒化学気相成長法を用いた転写プロセスにより高移動度化を試みる事が述べられている。

第3章では、プラスチック基板上に高移動度のn型素子を実現している。浮遊触媒化学気相成長法によりカーボンナノチューブ薄膜を形成するとともに、ポリエチレンイミンにより電子ドーピングを施すことにより、 $69 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ という高移動度をn型素子を得ている。この移動度は柔軟なプラスチック基板上に作製されたn型素子として最も高い値であった。

第4章では、n型素子の大气中における不安定性について、その機構を明らかにするとともに、保護膜により安定性を確保する手法を提案している。作製したn型素子において、電流の低下やゲート電圧の掃引によるヒステリシスなどの不安定性が水と酸素の共存状態において発現することを見出し、それらの酸化還元対がトラップとして働くことに起因していることを明らかにした。さらに、保護層として低温原子層堆積法によりアルミナを成膜することにより大气中での安定性を確保する手法を確立した。

第5章では、より柔軟な保護膜として、柔軟性と高いガスバリア性を併せもつグラフェンを検討している。グラフェンの成膜方法として、銅箔上に成長されたグラフェンを素子上に転写するプロセスを検討し、転写工程においてグラフェン上に生ずる残渣について、エネルギー分散型X線分光法により組成分析を行い、それが銅箔中の不純物や成長路の石英管に由来することを明らかにするとともに、その除去プロセスを提案した。ナノチューブ薄膜トランジスタの保護層として適応し、安定性の改善を得たものの、信頼性の高い保護膜として用いるためには欠陥の低減が必要であることが述べられている。

第6章では、カーボンナノチューブ薄膜上を移動する電解液による発電の可能性を検討し、特に出力電圧のナノチューブ薄膜厚さ依存性や電解液濃度依存性を調べるとともに、ラマン分光法を用いて電解液によるナノチューブ薄膜中へのキャリア誘起を明らかにし、実験的に発電原理とモデルを提案した。

第7章では、当該研究のまとめと今後の課題が述べられている。

以上のように本論文は、カーボンナノチューブ薄膜を用いた柔軟な薄膜トランジスタの高性能化や安定性の向上に対する指針や発電デバイスの原理とモデル化など、学術上多くの知見を得ており、将来のフレキシブルエレクトロニクスの実現に貢献するものである。よって本論文提出者安西智洋君は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格があるものと判定した。