

審査の結果の要旨

氏 名 稲 葉 亮

本論文は「イオン液体ゲートのグラフェン電界効果トランジスタによるガスセンシングの研究」と題し、5章から構成される。

グラフェンをFET型ガスセンサのガス検出部に用いることで感度のよい検出ができることが知られているが、FETのゲートに酸化ケイ素を用いるために比較的高いゲート電圧を必要とし、平衡に達するまでの応答時間が長い。え、グラフェンに吸着したガスを脱着させるためには真空引きや加熱を必要とするという課題があった。これに対して本論文の目的は、これら駆動電圧、応答速度、回復の課題を解決することを目的としている。本論文で提案する構造は、ソースとドレイン電極の間にグラフェン膜を形成し、このグラフェンの上にイオン液体を置くものであり、イオン液体によって吸収されたガスが、体積の小さなイオン液体中を短時間で拡散し、グラフェンに到達し、イオン液体にかけたゲート電圧に応じてソースドレイン間に電流を流す。この構造によって、グラフェンガスセンサのもつ課題が解決できるとしている。

第1章「序論」では、研究背景、従来研究とその課題、本研究の目的と意義について述べられている。

第2章「原理」では、イオン液体を用いたガスセンサ(ILGFETガスセンサ)の原理が述べられている。ILGFETガスセンサは、イオン液体表面におけるガスの吸収、表面で吸収されたガス分子のグラフェン近傍への拡散、グラフェンへのガス分子の吸着、吸着したガス分子からグラフェンへの電荷移動とそれによる電流電圧特性の変化の過程を経てガスに応答するとしている。また、ゲート電圧印加によりグラフェンとイオン液体界面に電気二重層(厚さ1nm程度)が形成される。この電気二重層をゲート誘電体として使用することにより、固体誘電体(厚さ300nm程度)を使用する従来のグラフェンFETガスセンサに比べて、ゲート駆動電圧を低くすることができる。

第3章「センサの製作と基礎特性計測」では、ILGFETガスセンサの製作と基礎特性の計測が述べられている。センサの製作では、グラフェンをウェハに転写した後、電極として金を成膜し、グラフェン上に10-100nLのイオン液体を滴下している。グラフェンのチャネルとしての長さは20 μ m、幅50 μ mである。このILGFETセンサの電気計測を行い、酸化ケイ素をゲートに使用するGFETセンサよりも十分低いゲート電圧で駆動できることを示している。

第4章「ガス応答計測」では、製作したILGFETセンサを用いて、空気中およびアンモニアガス中で電気特性を計測している。ILGFETセンサはGFETセンサよりもアンモニアガスに対する感度が高いことを実験で示している。これは、イオン液体のガス吸収性によりイオン液体内のガス分子密度が空気中よりも高くなることを反映していると考察している。次に、ILGFETセンサでイオン液体の厚さと応答時間の関係を求めている。この結果は、イオン液体の拡散係数の文献値を用いて、拡散方程式の解から求めた理論曲線と概ね一致している。さらに、ガス濃度が低下したとき、センサの応答が元に戻るかを確かめるために、ILGFETセンサをアンモニアおよび空気に交互にさらして応答をとり、20分程度空気にさらすことによりほぼ完全に回復すること、繰り返し使用できることを確認している。

第5章「結論」では、第4章において得られた結果に基づいて結論を述べている。

以上要するに、本論文では、イオン液体がもつガス吸収性と、液体と固体グラフェン間の電氣的な特性を利用して、グラフェンガスセンサの性能を向上し、駆動電圧の低減、高速の応答、短時間での回復を実現するものであって、高感度低消費電力のデバイスが期待されているセンサネットワークのガスセンサとして応用が期待されるものである。この点から本論文は、知能機械情報学の発展に貢献したものであって、本論文は博士(情報理工学)の学位請求論文として合格と認められる。