

ダイヤモンド論理回路チップの開発 -過酷環境下に強いダイヤモンド 集積回路の開発へ前進-

SATテクノロジー・ショーケース2018

■ はじめに

ワイドバンドギャップ半導体ダイヤモンドは大きなバンドギャップエネルギー、高いキャリア移動度および大きな破壊電界を持つため、高温、高出力、高周波、放射線や宇宙線下の過酷環境下でも安定に動作する電流スイッチおよび集積回路への応用が大きく期待されています。

高性能ダイヤモンド電子デバイスを開発するために、水素終端されたダイヤモンドが注目されています。水素終端ダイヤモンド表面近傍の電子は、表面吸着アクセプタへの電子遷移が可能であり、結果としてダイヤモンド表面上に二次元正孔ガスが蓄積されます。近年、水素終端ダイヤモンド表面を伝導チャンネルに用いた金属-酸化物-半導体電界効果トランジスタ(MOSFET)の開発が注目されていますが、これまで MOSFET のしきい値電圧の正負を制御することが難しく、デプレッションモード(以下 D モード)およびエンハンスメントモード(以下 E モード)動作を区別して作製することは困難でした。

■ 活動内容

1. D および E モードダイヤモンド MOSFET の制御

ダイヤモンド MOSFET における D および E モード動作は、アニールによって再現性よく制御されています。E モード MOSFET の作製には2つの条件が必要とされ、一つは、原子層堆積(ALD)技術およびスパッタリング堆積(SD)技術によって SD/ALD 二層酸化膜ゲート構造であり、もう一つは、その二層酸化膜を 150~350°C でアニールすることです。アニールに伴う 2 層酸化膜間の反応による酸化物ゲート内の電荷分布の変化がしきい値制御に関連すると考えられます「図(A)」。対照的に、単一の ALD- Al_2O_3 層をゲート酸化物とする水素終端ダイヤモンド MOSFET はアニールを施しても電荷分布が変化しないため D モードが動作します。

2. ダイヤモンド MOSFET 論理回路チップの開発

ダイヤモンド MOSFET しきい値制御プロセス法を利用することで、D および E モード 2 種類の MOSFET を同一チップ上にダイヤモンド論理回路を開発しました「図(B)」。

構成される論理回路は、バイアス状態による抵抗負荷またはスイッチングトランジスタとして動作しており、明確な論

理動作を示しました「図(C, D)」。

極限環境下に強いダイヤモンド集積回路を開発するための第一歩として、D および E モード動作する MOSFET を組み合わせたダイヤモンド論理回路チップの開発に世界で初めて成功しました。

■ 関連情報等(特許関係、施設)

文献

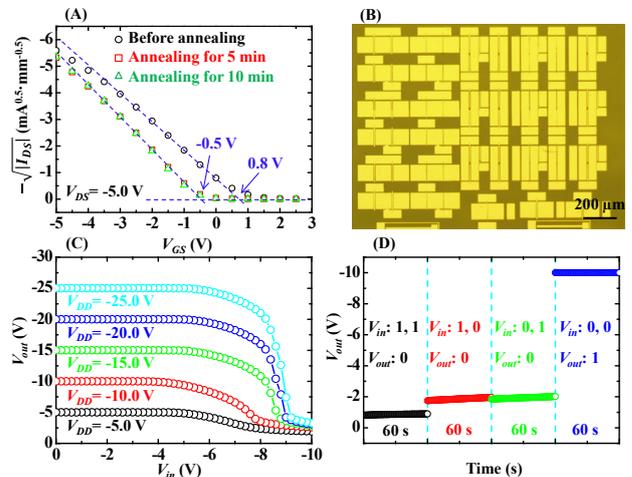
- (1) J. W. Liu, H. Oosato, M. Y. Liao, M. Imura, E. Watanabe, and Y. Koide, *IEEE Electron Dev. Lett.* **38**, 922-925 (2017).
- (2) J. W. Liu, M. Y. Liao, M. Imura, T. Matsumoto, N. Shibata, Y. Ikuhara, and Y. Koide, *J. Appl. Phys.* **118**, 115704 (2015).

特許

特願 2016-22084 劉 江偉, 小出 康夫, 大里 啓孝, 廖梅勇, 井村 将隆, 「ダイヤモンド半導体装置、それを用いたロジック装置、及びダイヤモンド半導体装置の製造方法」、物質・材料研究機構、2016年11月11日

新聞報道

科学新聞 (4面、2017年6月19日)、米国の材料学会誌 (2017年8月23日)、Science Daily (2017年8月17日)



図(A)ダイヤモンド MOSFET のしきい値電圧に対するアニールの影響、(B)論理回路チップの顕微鏡写真、(C)NOT 論理回路の電圧伝達特性、(D)NOR 論理回路の出力電圧信号

代表発表者 劉 江偉(りゅう こうい)

所属 物質・材料研究機構

機能性材料研究拠点

問合せ先 〒305-0044 茨城県つくば市並木1-1

TEL: 029-860-4954 FAX: 029-860-4672

e-mail: Liu.Jiangwei@nims.go.jp

■キーワード: (1)ダイヤモンド
(2)論理回路
(3)電界効果トランジスタ

■共同研究者: 小出 康夫 (こいで やすお)

物質・材料研究機構

技術開発・共用部門