

カーボンナノチューブ電子デバイスの進展と将来展望

Carbon nanotube electron devices: Recent progresses and future prospects

名大未来研 °大野 雄高

Nagoya Univ., °Yutaka Ohno

E-mail: yohno@nagoya-u.jp

カーボンナノチューブはその極微細構造と優れた電気伝導特性や熱・機械特性を生かした新規電子デバイスの実現が期待されている。直径や螺旋度によって金属や半導体になり、またバンドギャップも広い範囲で可変であり、多様な機能が得られ、超低消費電力 CMOS 集積デバイスや高周波デバイス、多様な電気化学センサ、透明導電膜・配線等への応用が可能である。塗布法や印刷法などの大気圧・低温プロセスにより高スループットで大面積に成膜することも可能である。これらの特徴を生かして、例えば、短チャネル効果を抑制した極微細トランジスタやその集積プロセスを開発する超大規模集積の先端を目指した研究や、柔軟な高分子基材上に低温プロセスにより各種センサ等を集積し、人体と親和性をもつウェアラブルデバイスの実現を目指した研究などが進んでいる。

カーボンナノチューブの電子デバイス応用最も大きな課題は構造と純度の制御であるが、近年、成長後に分離・精製する技術が開発され、極めて高純度な半導体カーボンナノチューブを得ることが可能である。螺旋度や光学異性体によっても分離でき、単一構造のカーボンナノチューブが得られる。

材料技術としてのもうひとつの大きな課題は均一成膜技術である。特に大規模集積デバイスの開発においては、単一構造の半導体カーボンナノチューブを配向させ、高面密度で1層のみ成膜したいいわゆるカーボンナノチューブウェアの実現が重要である。最近、Brady らは自己組織化的な成膜方法を開発し、Si MOSFET や GaAs FET の電流密度を凌駕する性能のカーボンナノチューブ FET を報告している。[1] フレキシブルデバイスなどの性能要求の低い素子の場合には、配向していないカーボンナノチューブ薄膜を用いることが可能であり、Chen らは溶液法により高均一かつ低電圧動作可能なカーボンナノチューブ薄膜トランジスタの実現を報告している。[2, 3]

これらのように、期待される電子機能に加え、カーボンナノチューブの材料技術の成熟を背景として、電子デバイスへの応用が現実味を帯びてきている。本報告では、カーボンナノチューブ電子デバイスについて、最近の進展を紹介した後、著者のフレキシブルデバイス応用に関する研究の成果から、ドーピングの精密制御による低電圧 CMOS、大伸縮可能な薄膜トランジスタおよび集積回路、アナログ集積回路の設計と実証等について報告し、今後の展望について述べる。

[1] G. J. Brady, et al., *Sci. Adv.* **2**, e1601240 (2016).

[2] B. Y. Chen, et al., *Nano Lett.* **16**, 5120 (2016).

[3] L. Xiang, et al., *Nat. Electron.* **1**, 237 (2018).