

光変調器応用に向けたグラフェンスロット導波路の試作

The fabrication of the graphene slot waveguide for optical modulator

東大院工¹, JST-CREST², ◯佐々木和哉^{1,2}, 竹中充^{1,2}, 高木信一^{1,2}
 The University of Tokyo¹, JST-CREST², K. Sasaki^{1,2}, M. Takenaka^{1,2}, S. Takagi^{1,2}
 E-mail: sasaki@mosfet.t.u-tokyo.ac.jp

【はじめに】

六角格子状に炭素原子が並んだ二次元材料であるグラフェンは、極めて高い移動度を有し、線形の分散関係を持つバンド構造を持つことから、特異な物性を示す。特に、ゲート電圧印加等によりグラフェンの化学ポテンシャルを変化させることで、グラフェンの誘電率や吸光係数を大きく変調することができ、それらの特徴を利用した高性能光変調器実現に関する研究が世界中で進められている。既にグラフェンを Si のリブ導波路に装荷し、電界吸収効果を利用した変調器が報告[1]されている。一方、オンチップ光配線応用も見据えた更なる高性能・小型光変調器として、化学ポテンシャル変調によるグラフェンの半導体-金属遷移を用いた変調原理が提案されている。例えばスロット導波路[2]やリブ導波路[3]にグラフェンを導入した構造のグラフェン光変調器が提案されており、サブミクロン素子長の実現可能性が数値計算により報告されている。しかしながらグラフェンスロット導波路を実際に作製し、特性評価を行った報告はほとんど無い。本研究では、グラフェン光変調器応用に向けて、グラフェンスロット導波路を試作し、導波特性を評価したので報告する。

【数値解析結果】

まず、図 1 に示すグラフェンスロット導波路の導波特性を数値解析した。実際の素子作製を考慮して、膜厚 160nm の Si 層を持つ SOI 基板上に 10nm 膜厚の Al₂O₃ に挟まれたグラフェンを配し、アモルファス Si (α-Si) により導波路メサを形成した構造となっている。グラフェンの化学ポテンシャルに応じた誘電率を求め、波長 1.55μm における TE モードおよび TM モードの吸収率を計算した結果を図 2 に示す。化学ポテンシャルが 0-0.3eV 程度ではいずれのモードでも約 0.12 dB/μm の吸収が見込まれる。一方、化学ポテンシャルが 0.515eV 付近でグラフェンの誘電率が正から負に変化する際、TM モードで 3 dB/μm と極めて大きな吸収変化がみられる。この原理を用いることで超小型光変調器が実現可能であることが分かる。

【実験結果】

解析結果に基づき、図 3 に示すプロセスフローにてグラフェンスロット導波路を試作した。SOI 基板の Si 層を熱酸化により 160nm まで薄層化し、10nm 膜厚の Al₂O₃ を ALD により堆積した。CVD 法で銅箔上に成長した単層グラフェンを Al₂O₃ 上に転写後、グラフェンをパターニングした。その後、再度 ALD により 10nm 膜厚の Al₂O₃ を堆積した。PECVD により α-Si を 160nm

堆積し、ドライエッチングにより導波路メサを形成することでグラフェンスロット導波路を作製した。図 4 は作製したデバイスの顕微鏡写真である。点線で囲まれた領域がグラフェンスロット導波路となっている部分である。図 5 にグラフェンスロット導波路の出力強度を、グラフェンスロット導波路の長さに対してプロットした結果を示す。この結果から、グラフェンスロット導波路の導波損失は約 0.12dB/μm と推定される。これはグラフェンの化学ポテンシャルが 0-3eV 程度における数値解析結果とほぼ同じである。このことからグラフェンスロット導波路の作製に成功したものと考えられる。

【謝辞】

本研究の一部は、倉田記念日立科学技術財団の研究助成により実施した。

【参考文献】

- [1] M. Liu *et al.*, Nature 474, 64-67 (2011)
- [2] Z. Liu *et al.*, J. Opt. Soc. Am. B, 29, 61490 (2012)
- [3] H. Li *et al.*, APL, 101, 111110 (2012)

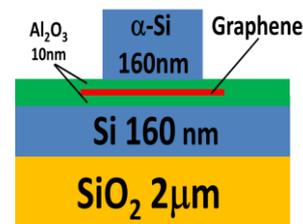


図 1: グラフェンスロット導波路の概観

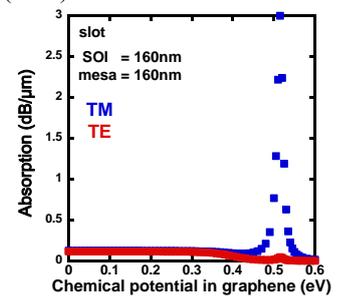


図 2: グラフェンの吸収特性

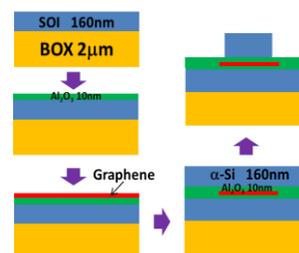


図 3: 作製プロセス

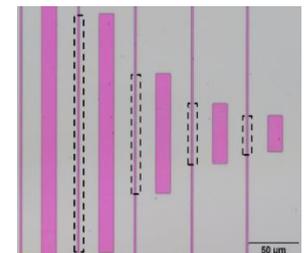


図 4: デバイス顕微鏡写真

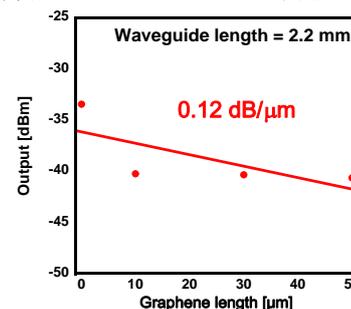


図 5: グラフェンスロット導波路の導波損失特性