

シリコンフォトニクス応用に向けた窒化ゲルマニウム薄膜の反応性スパッタ堆積 Reactive Sputtering Deposition of Germanium Nitride Thin Films for Silicon Photonics Applications

豊橋技科大, °(M1)岡垣 颯, Jose A. Piedra-Lorenzana, 飛沢 健, 山根 啓輔, 石川 靖彦
Toyohashi Univ. Tech. °(M1) So Okagaki, Jose A. Piedra-Lorenzana, Takeshi Hizawa,
Keisuke Yamane, Yasuhiko Ishikawa,
E-mail: okagaki.so.nd@tut.jp, ishikawa@ee.tut.ac.jp

1. はじめに

シリコンフォトニクスにおいて、 SiN_x リング光共振器が波長変換・光周波数コム発生に広く利用されている。 SiN_x は、(1) 線形屈折率 n_0 が約 2.0 と大きく強い光閉じ込めが可能 (SiO_2 クラッド: 約 1.5)、(2) バンドギャップ E_g が約 5.0 eV であるため光通信波長 1.31/1.55 μm において二光子吸収がない、といった特長がある。一方、(3) 3 次非線形光学効果が小さく (非線形屈折率 $n_2 = 0.25 \times 10^{-18} \text{ m}^2/\text{W}$) 高 Q 値のリング共振器 (高い加工精度) が必要、である。シリコンフォトニクスで利用でき、より高い非線形光学効果を有する材料が望ましい。 n_2 の大きさは E_g^{-4} に依存することが報告されている[1]。二光子吸収の抑止を考慮すると、 E_g が 2.0 eV 程度の材料が効果的と考えられる。本研究では、手始めとして GeN_x を検討した。理想的な $\gamma\text{-Ge}_3\text{N}_4$ の E_g は 2.3 eV [2]、 n_0 は 2.4 程度 (可視域) [3] であるが、 n_2 は不明である。今回は、 GeN_x 薄膜を反応性スパッタリングにより堆積し、分光エリプソメトリーにより n_0 および光吸収係数 α を評価した。

2. 実験方法

4 インチ $\text{Si}(100)$ 基板上に高周波反応性スパッタリングを用いて GeN_x を堆積した。 Ge をターゲットとし、 Ar および N_2 をガスに用いた。堆積温度は 200°C、圧力は 0.5 Pa である。RF パワーおよび Ar/N_2 ガス流量比をパラメータとした。分光エリプソメトリーを用いて、波長範囲 190 ~ 2000 nm における n_0 および消衰係数 κ を測定した。 κ から吸収係数 $\alpha = 4\pi\kappa/\lambda$ を求めた。参照試料に SiN_x 反応性スパッタ膜[4]および $\text{Si}(100)$ 基板上 Ge エピタキシャル層を用いた。

3. 実験結果と考察

Fig. 1 に GeN_x 反応性スパッタ膜の n_0 および α の波長依存性を示す (RF パワー 100 W、 Ar/N_2 ガス流量比 1 および 2)。 N_2 ガスの割合を増加することで n_0 が減少した。 Ar/N_2 ガス流量比 1 における光通信波長 1.31/1.55 μm (可視域) での n_0 は約 2.2 であり (可視域: 2.2 ~ 2.5)、 SiN_x の約 2.0 よりも高い値であった。また、 n_0 の減少に伴って α も減少した。しかし、バンドギャップの理想値 $E_g = 2.3 \text{ eV}$ に対応する波長 540

nm 近辺において光吸収を抑えられていない。 Ge 過剰の GeN_x ($x < 4/3$) が形成されていると考えられる。スパッタ中の N_2 ガスの割合をさらに増加することが効果的と考えられる。

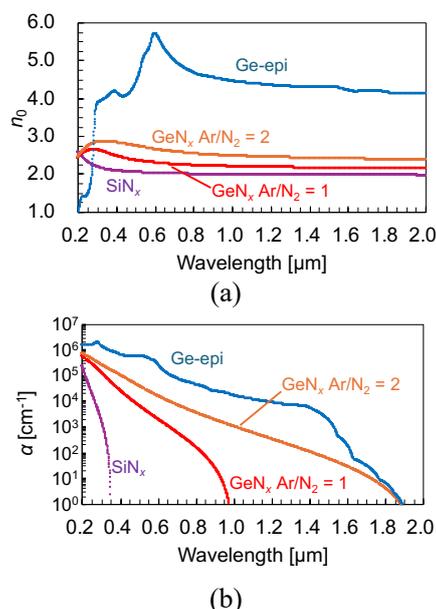


Fig. 1. Spectra of (a) n_0 and (b) α for GeN_x .

4. まとめ

シリコンフォトニクスで利用でき、 SiN_x よりも高い非線形光学効果を有する可能性のある GeN_x の反応性スパッタ堆積を検討した。ほぼ想定通りの線形屈折率が得られたが、さらなる光吸収の低減が必要である。

謝辞

分光エリプソメトリーの測定に協力いただいた堀場テクノサービス・和才容子様に感謝いたします。

参考文献

- [1] M. Sheik-Bahae et al., Phys. Rev. Lett. 65, 96 (1990).
- [2] M. Yang et al., J. Appl. Phys. 102, 013507 (2007).
- [3] C.-H. Li et al., Phil. Trans. R. Soc. A 381, 20230016 (2023).
- [4] R. Tsuchiya et al., IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron. 22, 4400109 (2022).