



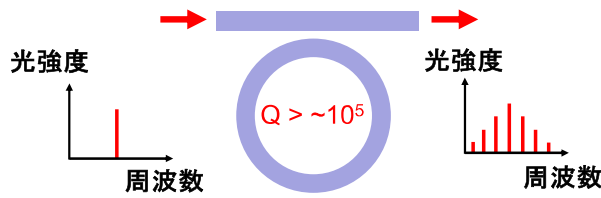
シリコンフォトニクス応用に向けた 窒化ゲルマニウム薄膜の反応性スパッタ堆積

9 産業と技術革新の
基盤をつくる

プロジェクトメンバー: 電気・電子情報工学系 石川靖彦、岡垣颯、J. A. Piedra Lorenzana、飛沢建、山根啓輔

背景

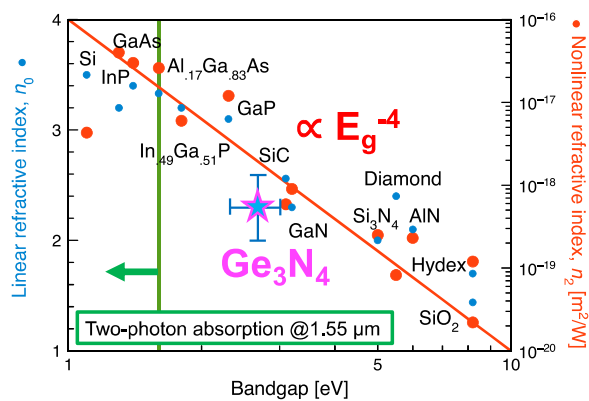
- Si フォトニクスにおける非線形光学デバイス
 - 3次非線形光学効果を利用した光周波数コムが発生



	Si	Si ₃ N ₄
結晶性	単結晶: SOI	非晶質: CVD / スパッタ
バンドギャップ [eV]	1.1	5.0
二光子吸収 @ 1.55 μm	有	無
非線形屈折率 n_2 [m ² /W] $\propto \chi^{(3)}$	43×10^{-19}	2.5×10^{-19}

非線形屈折率

- 理論的には E_g^{-4} 依存性
Bahae et al, Phys. Rev. Lett. 65, 96, 1990
- 実験も概ね E_g^{-4} 依存性



D. J. Wilson et al, Nature Photon. 14, 57, 2020
M. Yang et al, J. Appl. Phys. 102, 013507 2007 (E_g of Ge_3N_4)
C.-H. Li et al, Phil. Trans. R. Soc. A 381, 20230016 (n_0 of Ge_3N_4)

目的

3次非線形光学効果の利用に向けた GeN_x の開拓

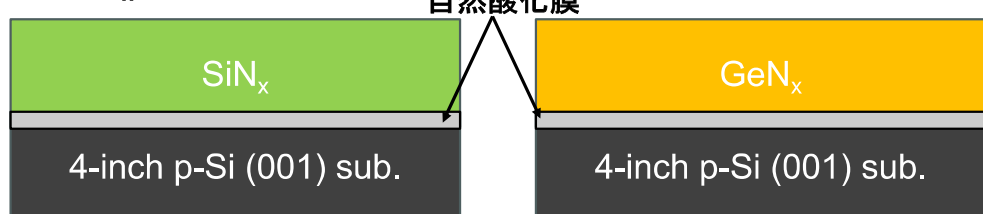
	Si ₃ N ₄	Ge ₃ N ₄			Ge	
	実験	理想結晶			実験 / スパッタ	
構造	非晶質	α 六方晶	β 六方晶	γ 立方晶	非晶質(?)	単結晶
線形屈折率 n_0	2.0	2.0*	2.5*	2.6*	? (2.2 ~ 4.1 @ > 600 nm [†])	4.2
バンドギャップ [eV]	5.00	3.15 [†]	3.07 [†]	2.33 [†]	?	0.66

* B. H. D. Jayatunga et al, Phys. Rev. B. 102, 195203, 2020
† M. Yang et al, J. Appl. Phys. 102, 013507, 2007
‡ T. Maruyama & M. Ichida, J. Electrochem. Soc. 146, 1186, 1999

堆積条件

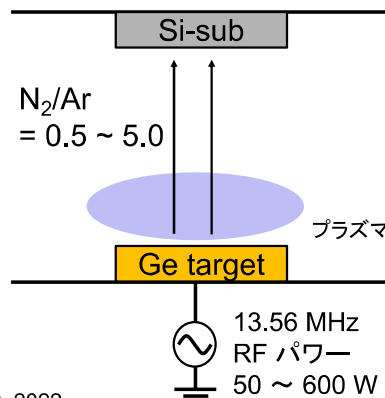
RF反応性スパッタリングによる GeN_x の堆積

- SiN_x の堆積条件を参考



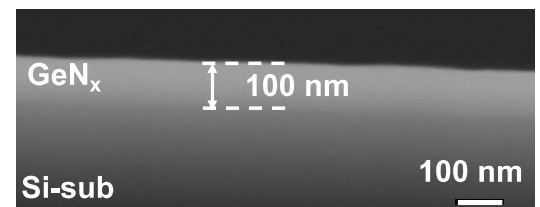
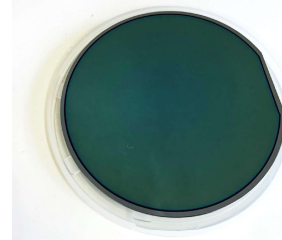
	SiN _x *	GeN _x
堆積温度 [°C]		200
ターゲット	Si	Ge
N ₂ /Ar ガス流量比	0.50	0.50 ~ 5.00
圧力 [Pa]	0.5	0.50 (流量比 < 1) 0.35~0.50 (流量比 ≥ 1)
RF パワー [W]	600	50 ~ 600

* R. Tsuchiya et al, IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron. 28, 4400109, 2022



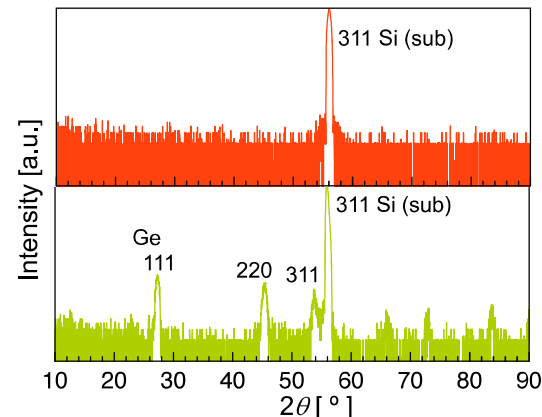
結果、考察

堆積評価



断面図 SEM
(N₂/Ar = 5, RF = 50 W)

結晶性評価 (薄膜X線回析)



$\text{GeN}_x \rightarrow$ 非晶質

- ピーク無し(基板のピークのみ)

参照試料
スパッタ Ge & アニール

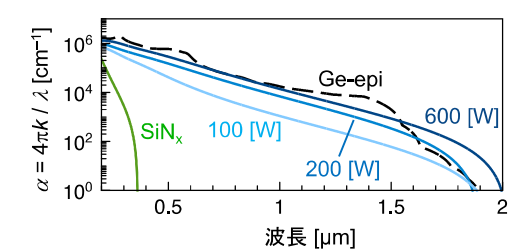
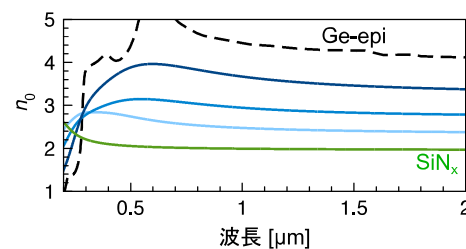
$\rightarrow$ 多結晶

- 複数のピーク

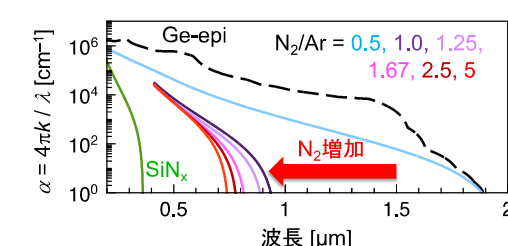
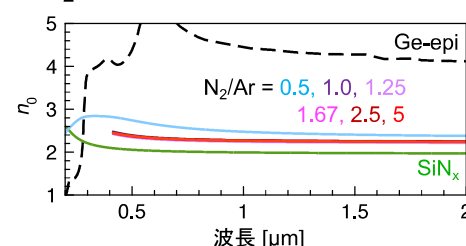
線形屈折率 n_0 & 吸収係数 α [分光エリプソメトリーによる評価]

- ◆ @ N₂/Ar = 0.5

- RFパワーを下げるほど n_0 , α 減少

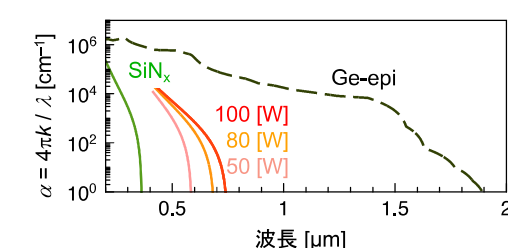
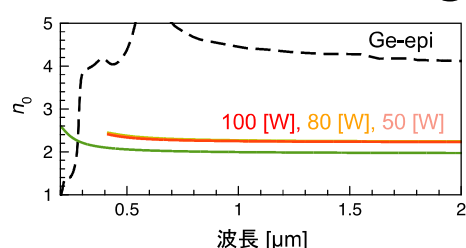


- ◆ N₂/Ar ガス流量比依存性 @ RF = 100 W



- ◆ @ N₂/Ar = 5.0

- SiNxと同程度の線形屈折率
- バンドギャップ > ~2 eV @ RF 50 W



まとめ

■ GeN_x 反応性スパッタ膜

- 線形屈折率 ~ 2.2 : SiN_x と同程度
- 約2 eVのバンドギャップ
 $\rightarrow$ 2光子吸収が発生しない @ $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$

展望 GeN_x コア光リング共振器の作製
3次非線形光学効果による光周波数コム発生の高効率化

謝辞

- 分光エリプソメトリー評価 : 堀場テクノサービス 和才容子様
- JSPS 科研費 JP23K03941
- 日本板硝子材料工学助成会

技術を究め、技術を創る

国立大学法人 豊橋技術科学大学

