

エピタキシャル成長した $\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$ および Si 薄膜における H_2 希釈 CF_4 ガスによるドライエッチングの選択性評価 Study on Selective Dry Etching of Epitaxially Grown $\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$ and Si using H_2 Diluted CF_4

¹ 名大院工, ² 名大低温プラズマ, ³ IHP ^{○1} 尾崎孝太郎, ² 高田昇治, ² 堤隆嘉, ² 石川健治,
³ Yuji Yamamoto, ³ Wen Wei-Chen, ¹ 牧原克典
¹ Nagoya Univ., ² Nagoya Univ. cLPS, ³ IHP ^{○1} Kotaro Ozaki, ² Noriharu Takada, ² Takayoshi Tsutsumi,
² Kenji Ishikawa, ³ Yuji Yamamoto, ³ Wei-Chen Wen, and ¹ Katsunori Makihara
E-mail: ozaki.koutaro.g8@s.mail.nagoya-u.ac.jp

序 GAA-FET は SiGe/Si 積層膜をエピタキシャル成長した後、SiGe 層を選択的に除去することで Si 薄膜層を残すプロセスで実現しているが、高選択比および低ダメージを両立するエッチングプロセスは確立されていない。本研究では、c-Si(100)基板上に $\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$ および Si 薄膜をエピタキシャル成長し、 H_2 希釈 CF_4 ガスによるドライエッチングを行うことで選択性と表面ラフネスへの影響を評価した。

実験 $\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$ 薄膜は SiH_4 および GeH_4 ガスを用いた RPCVD により、n-Si(100)基板上に膜厚 $\sim 500\text{nm}$ エピタキシャル成長させた(Inset in Fig.1(a))。また、Si 層は n-Si(100)基板上に膜厚 $\sim 50\text{nm}$ の $\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$ 薄膜をエピタキシャル成長した後、引き続き SiH_4 -RPCVD により、 $\sim 500\text{nm}$ 成長させた(Inset in Fig.1(a))。その後、 H_2 希釈 CF_4 ガスを用いた RIE によりドライエッチングを行った。尚、総ガス流量は 100sccm で一定とし、 H_2 希釈率は $0\sim 15\%$ で変化させた。膜厚およびエッチングレートは、in-situ SE(分光エリプソメトリー)により評価した。尚、AFM により測定したエピタキシャル層成長直後の RMS 表面ラフネスは $\sim 0.12\text{nm}$ ($\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$)、 $\sim 0.10\text{nm}$ (Si) であり、平坦な膜形成が出来ていることは別途確認している。

結果および考察 in-situ SE で算出した $\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$ および Si のエッチングレートを H_2 希釈率でまとめた結果(Fig. 1(a))、 H_2 希釈していない場合では、 $\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$ および Si 層のエッチングレートは各々 ~ 0.3 、 $\sim 0.06\text{nm/sec}$ であり、選択比 ~ 5.0 が実現できている。これは、Si-Ge の結合エネルギーが Si-Si 結合に比べ低いため、イオンにより Si-Ge 結合の切断が容易に起こることから F 原子との反応が促進すると解釈できる。しかしながら、エッチング後の表面を AFM により評価した結果、 $\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$ および Si 薄膜表面の RMS ラフネスは各々 $\sim 0.98\text{nm}$ 、 $\sim 0.66\text{nm}$ であり、エッチングによる表面荒れが顕著であった(Figs. 2 (a, b))。 H_2 希釈率を増加させた場合、希釈率の増加に伴い $\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$ のエッチングレートは緩やかに低減し、13%ではエッチングが認められなかった。一方で、Si のエッチングレートは H_2 希釈率 $\sim 7\%$ までは、顕著な変化は認められないものの、7%以上では緩やかに低下することが分かった。これらの結果を元に、 $\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$ /Si の選択比をまとめた結果(Fig. 1(b))、希釈率 7%までは選択比が低下することが分かる。これは、 H_2 ガスの導入により CF_4 の総量が減少することに起因して F 原子によるエッチング確率が低下するものの、導入した H_2 から生成される水素イオンが Ge よりも Si と結合しやすいため[1]、水素イオンが Si のエッチングに強く寄与していると考えられる。しかしながら、 H_2 希釈率 $\sim 10\%$ では選択比が ~ 3.5 まで一旦増大し、それ以上では選択比が大きく低下した。 $\sim 10\%$ 以上の H_2 希釈率では、 CF_x 膜の堆積がエッチングの律速要因になっていると考えられ、希釈率 10%ではこれらがバランスしていると示唆される。尚、希釈率 10%でエッチングした際の $\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$ および Si 薄膜表面の RMS ラフネスは各々 $\sim 0.40\text{nm}$ 、 $\sim 0.28\text{nm}$ であり (Figs.2 (a', b'))であり、表面ラフネスが抑制された均一なエッチングが実現できていることが分かった。

結論 CF_4/H_2 -RIE において、 H_2 希釈率を制御することで、表面荒れを抑制しつつ Si に対する $\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$ の選択比 3.5 が得られることが分かった。

文献 [1] Y. Ishii et al., *Jpn. J. Appl. Phys.* **57**, 06JC04(2018).
謝辞 本研究の一部は、科研費国際共同研究加速基金(A)の支援を受けて行われた。

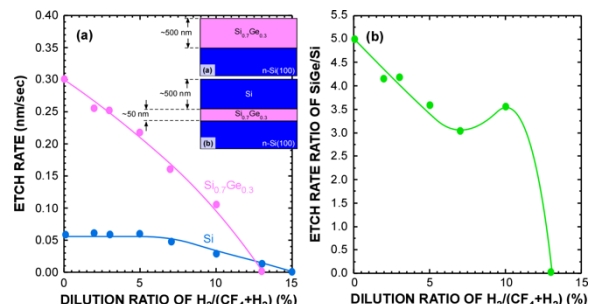


Fig. 1 (a) Etch rates of $\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$, and Si, and (b) etching rate ratio of the $\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}/\text{Si}$ as a function of H_2 dilution ratio. Schematic illustrations of the sample structure are also shown in the inset.

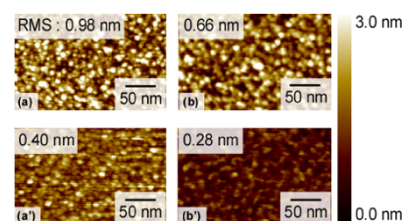


Fig. 2 AFM images of (a, a') $\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$, and (b, b') Si surface taken after dry etching at a dilution ratio of (a, b) 0% and (a', b') 10%.