

# 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 $\text{H}_2$ 希釈 $\text{CF}_4$ ガスによるドライエッチング – 基板温度依存性–

## Substrate Temperature Dependence of Dry Etching of Epitaxially Grown $\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$ and Si using $\text{H}_2$ Diluted $\text{CF}_4$

<sup>1</sup>名大院工, <sup>2</sup>名大工, <sup>3</sup>名大低温プラズマ, <sup>4</sup>IHP - Leibniz-Institut für innovative Mikroelektronik

<sup>01</sup>尾崎孝太郎, <sup>2</sup>佐分利伊吹, <sup>3</sup>堤隆嘉, <sup>3</sup>石川健治, <sup>4</sup>Yuji Yamamoto, <sup>4</sup>Wei-Chen Wen, <sup>1</sup>牧原克典

<sup>1</sup>Nagoya Univ. Eng., <sup>2</sup>Nagoya Univ., <sup>3</sup>Nagoya Univ. cLPS, <sup>4</sup>IHP - Leibniz-Institut für innovative Mikroelektronik

<sup>01</sup>Kotaro Ozaki, <sup>2</sup>Ibuki Saburi, <sup>3</sup>Takayoshi Tsutsumi, <sup>3</sup>Kenji Ishikawa, <sup>4</sup>Yuji Yamamoto, <sup>4</sup>Wei-Chen Wen, and <sup>1</sup>Katsunori Makihara

E-mail: ozaki.kotaro.g8@s.mail.nagoya-u.ac.jp

**序** > GAA-FETs の Si ナノシート形成は、SiGe/Si 積層膜をエピタキシャル成長した後、過酢酸溶液や HCl ガスを用いて 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ドライエッチングプロセスは確立されていない。前回我々は、 $\text{CF}_4/\text{H}_2$ -RIE において、 $\text{H}_2$  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 が得られることを報告した[1]。本研究では、エッチング時における基板温度が選択エッチングに及ぼす影響を調べた。

**実験** >  $\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$  薄膜は高  $\text{H}_2$  希釈  $\text{SiH}_4$  および  $\text{GeH}_4$  ガスを用いた RPCVD により、n-Si(100)基板上に膜厚~500nm エピタキシャル成長させた。また、Si 層は n-Si(100)基板上に膜厚~50nm の  $\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$  薄膜をエピタキシャル成長した後、引き続き高  $\text{H}_2$  希釈  $\text{SiH}_4$ -RPCVD により、~500nm 成長させた。その後、 $\text{CF}_4(95\text{sccm})/\text{H}_2(5\text{sccm})$  プラズマを無バイアス下で照射しドライエッチングを行った。尚、ドライエッチング時の基板温度を -40~20 °C の範囲で変化させ、in-situ SE(分光エリプソメトリー)により膜厚およびエッチングレートを測定した。また、エッチング後の表面状態を AFM および XPS により評価した。

**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基板温度でまとめた結果(Fig. 1)、基板温度が 20 °C の場合では、 $\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$  および Si 層のエッチングレートは各々~0.22、~0.06 nm/sec であり、Si に対する  $\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$  の選択比~3.6 が実現できている。これは、Si-Ge/Ge-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/Ge-Ge 結合の切断が容易に起こることから活性種である F ラジカルとの反応が促進すると解釈できる。しかしながら、基板温度を低下するにつれて  $\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$  および Si 層のエッチングレートは単調減少し、選択比も減少した。この結果は、基板温度の低下に伴い、吸着した活性種が脱離するために必要なエネルギーを得られなくなったためと解釈できる。また、エッチング後における Si 層の表面を AFM により評価した結果、基板温度の低下に伴い表面 RMS ラフネスが抑制できていることが分かった(Fig. 2(a))。さらに、XPS 分析において、基板温度の低下に伴い C-F<sub>x</sub> 化合物である FC(Fluorocarbon)膜に起因するピークが増大していることから(Fig. 2(b))、 $\text{CF}_4/\text{H}_2$  プラズマ照射による FC 膜の堆積は基板温度に依存しないものの、基板温度の低下に伴い F ラジカルによる FC 膜の脱離反応がエッチングの律速要因となっていると解釈できる。

**結論** >  $\text{CF}_4/\text{H}_2$  プラズマを用いた真空一貫ドライエッチングにおいて、基板温度 20°C にすることで、Si 層表面の反応過程を制御でき、選択比~3.6 での Si に対する  $\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$  の選択エッチングが実現可能であることが分かった。

**文献** > [1] K. Ozaki et al., Abst. of 2024 International Symposium on Dry Process (2024) 65.

**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。また、低温プラズマ科学研究センタースタッフの支援に感謝致します。

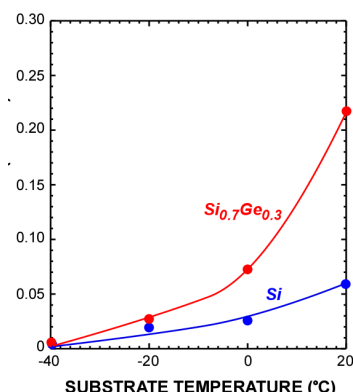


Fig. 1 Etch rates of  $\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$ , and Si as functions of substrate temperature.

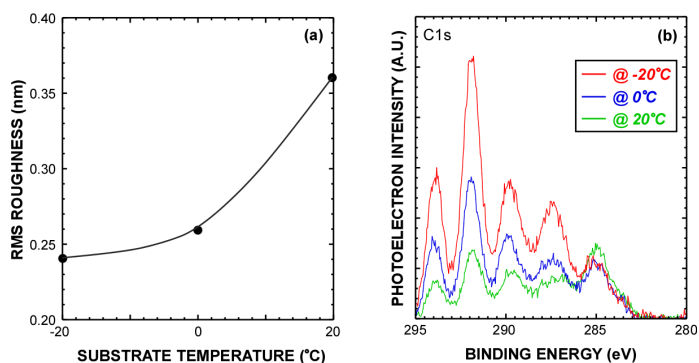


Fig. 2 (a) RMS roughness of Si layer evaluated by AFM topographic image, and (b) C1s spectra of the Si layer taken after  $\text{CF}_4/\text{H}_2$  plasma exposure at substrate temperature of -20, 0, and 20°C.