

中性粒子ビームエッチングによる Ge エッチングメカニズムの検討

Investigation of Ge Etching Mechanism by Neutral Beam Etching

○野田周一^{1,2}、谷本陽祐³、尾崎卓哉²、栗原秀行³、星野恭之³、
遠藤和彦^{1,2}、寒川誠二^{1,2} (1.産総研、2.東北大学、3.昭和電工)

○Shuichi Noda¹, Yosuke Tanimoto³, Takuya Ozaki², Hideyuki Kurihara³, Yasuyuki Hoshino³,
Kazuhiko Endo^{1,2}, Seiji Samukawa^{1,2} (1. AIST, 2. Tohoku Univ., 3. SHOWA DENKO)

E-mail: samukawa@ifs.tohoku.ac.jp

1. はじめに

Si デバイスの微細化限界を越える次世代候補デバイスとして、Si よりもキャリア移動度が高い Ge をチャネル材料として用いた Fin FET デバイスを検討している。しかし、Si に比べ酸化膜安定性、耐熱性が低い Ge では、加工プロセスダメージを回復するための高温アニールが困難なため、超微細な Ge Fin 構造を高精度に無欠陥にラフネスフリーで形成することが不可欠である。我々は、超高精度・低ダメージ加工が可能な Cl_2 中性粒子ビームエッチング (NBE) [1]を用いて Ge FinFET を試作し、従来のプラズマエッチング (PE) と異なり、垂直で原子レベルで平滑な Ge チャネルを形成することができ p 型、n 型 FinFET とともに高い駆動電流、低いオフ電流、急峻なサブスレッショルド特性が得られることを示してきた[2]。さらに、HBr NBE ではより微細な形状制御、対 SiO_2 選択比を向上できることを示してきた[3]。今回は Cl_2 , F_2 , HBr プラズマを用いた中性粒子ビームエッチング特性を比較することで各種ガスケミストリーにおける Ge エッチングメカニズムを明らかにし、最適なエッチングケミストリーについて考察する。

2. 実験

各種ハロゲンガスを用いた Si のドライエッチング特性については過去より詳細に検討されている。同じ 4 族元素である Ge では比較的似たエッチング特性を示すもののその詳細はほとんど検討されておらず、高精度のエッチングを実現するためには Ge のエッチング特性を詳細に理解する必要がある。このため、反応ガスとして F_2 、 Cl_2 および HBr を用い、 $-20^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$ の温度範囲で NBE と PE を用いたときの Si, Ge, SiO_2 のエッチングエッチレート、エッチング形状を詳細に調べ、これらの違いを比較することにより Ge のエッチングメカニズムを考察した。

3. 結果

図 1 は、 F_2 、 Cl_2 および HBr ガスを用いた時の Ge と Si の NBE によるエッチレートの基板温度依存性を示す。 F_2 を用いた NBE では Ge、Si とともに明瞭な温度依存性を示し、熱化学的で高速な等方性エッチングが進行した。 Cl_2 ガスを用いた場合には Si、Ge とともにエッチレートの温度依存性が小さくなり、中性粒子ビーム (NBE) の運動エネルギーにより誘起されるエッチング反応が主になっていると考えられる。反応生成物の沸点がより高い Ge の方が沸点の低い Si よりも 3 倍程度エッチレートが高い傾向がみられたが、これは、Ge の方が Cl ラジカルの表面の化学吸着層が 3 倍程度厚い[4]結果と考えられる。Ge では Si と比べると僅かに温度依存性高いことから化学吸着の影響が大きいことを示していると思われる。PE では NBE に比べ Si、Ge とともにエッチレートが高かった (図示せず) が、この違いは主にプラズマ中の UV 照射を受けて極表面に欠陥を生じながらエッチングが進行するためと考えている[3]。HBr を用いた場合にも Ge は Si よりもエッチレートが高く、 Cl_2 の場合と同様に化学吸着層の厚さの違いがあるものと思われる。 Cl_2 の場合と異なり Si でも Ge と同等の温度依存性があり、Si 上でも吸着層の熱的反応成分が高いものと思われる。この傾向は PE では見られないため、UV 照射のある表面では欠陥生成によるエッチングの増速反応があるものと考えられる。

[1] S. Samukawa et al., J. Vac. Sci. Technol., A **20**, 1566 (2002). [2] W. Mizubayashi et al., Appl. Phys. Express, **10**, 026501 (2017). [3] 野田、他、第 78 回応用物理学会秋季後援会、8a-C21-6 (2017). [4] J-Y Choe et al., J. Vac. Sci. Technol., A **16**, 3266 (1998).

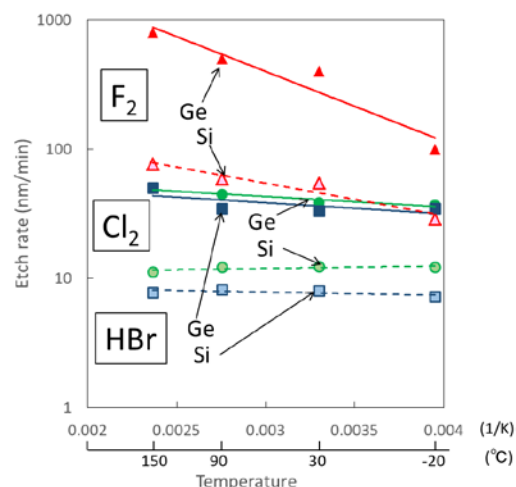


図 1. 各ガス系での Ge および Si の NBE レートの基板温度依存性