

熱化学エッチングによるダイヤモンドトレンチ{111}平坦側面の形成

Formation of Diamond Trench {111} Flat Sidewalls by Thermochemical Etching

産総研¹, 金沢大² ○長井 雅嗣¹, 松本 翼², 山崎 聡², 徳田 規夫², 春山 盛善¹, 加藤 有香子¹, 吉岡 裕典¹, 梅沢 仁¹, 加藤 宙光¹, 小倉 政彦¹, 竹内 大輔¹, 宮本 良之¹, 牧野 俊晴¹
 AIST¹, Kanazawa Univ.², °Masatsugu Nagai¹, Tsubasa Matsumoto², Satoshi Yamasaki², Norio Tokuda²,
 Moriyoshi Haruyama¹, Yukako Kato¹, Hironori Yoshioka¹, Hitoshi Umezawa¹, Hiromitsu Kato¹,
 Masahiko Ogura¹, Daisuke Takeuchi¹, Yoshiyuki Miyamoto¹, Toshiharu Makino¹

E-mail: masatsugu-nagai@aist.go.jp

トレンチ型反転層チャネルダイヤモンド MOSFET は、材料と構造の観点から究極の低損失 MOSFET として期待されており、我々はその世界初の動作実証を目指している。現在、ダイヤモンド反転層の形成が実証されているのは{111}面のみであるため、上記 MOSFET のチャネル面となるダイヤモンドトレンチ側面は{111}面であることが望ましい。しかし、プラズマを用いた従来のダイヤモンドエッチング技術では、速度や選択性、異方性の観点から、そのようなトレンチの形成は困難である。加えて、動作不良や特性劣化を引き起こすプラズマダメージの導入も問題である。近年我々は、Ni と水蒸気を用いた熱化学ダイヤモンドエッチング技術（以下、「本技術」）を独自開発した。本技術は、高速性（世界最速）、高選択性、結晶異方性、ダメージフリー等の従来技術には無い優れた特徴を有しており、{111}側面を備えたダイヤモンドトレンチの形成を容易にした[1, 2]。しかし、良好な反転層チャネルの形成を困難にするサブミクロンスケール以上の凹凸が{111}側面上に形成されることが課題であった。そこで本研究では、本技術の温度条件の最適化を通して、凹凸が抑制されたより平坦なダイヤモンドトレンチ{111}側面の形成を目的とした。

実験には、高温高压合成単結晶ダイヤモンド(100)基板を用いた。まず、当該基板表面に正方形 Ni 膜 (100 $\mu\text{m} \times 100 \mu\text{m} \times 0.2 \mu\text{m}$) を辺が<110>方向に沿うように形成した。次に、加湿窒素 ($\text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$) アニールを 910, 920, 930, 940, 950, 1000°C で実施した。この工程で、Ni 膜直下のダイヤモンドが熱化学的にエッチングされ、トレンチが形成される。最後に、酸洗浄を行い、Ni 膜を除去した。トレンチ側面の平坦性は、SEM（空間分解能: 3 nm）を用いて評価した。

Fig. 1 に本技術により各温度条件下で形成された典型的なダイヤモンドトレンチ{111}側面の SEM 像を示す。940°C 以上で得られた側面には、ほぼ全面に渡ってサブミクロンスケール以上の凹凸が形成された。それに対し 930°C 以下では、結晶欠陥箇所等の一部を除いて、SEM で凹凸が不可視のナノスケールで平坦なダイヤモンドトレンチ{111}側面の形成に成功した。底面形状や側面平坦性が温度に依存するメカニズムについては当日議論する。

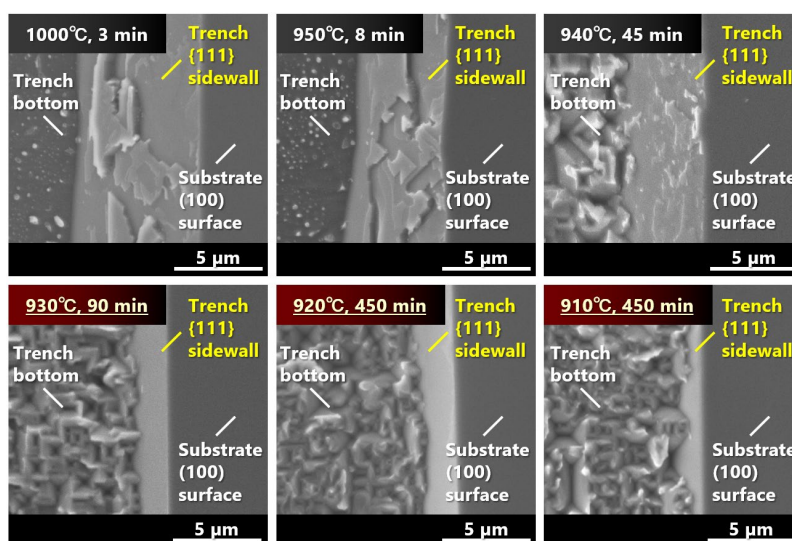


Fig. 1. SEM images of the diamond trench {111} sidewalls formed by thermochemical diamond etching using nickel and water vapor under various temperature conditions (as indicated in the figure).

【参考文献】 [1] M. Nagai et al., Sci. Rep. 8 (2018) 6687. [2] M. Nagai et al., Diam. Relat. Mater. 103 (2020) 107713.

【謝辞】 この成果の一部は、NEDOエネルギー・環境新技術先導研究プログラム (JPNP14004)、及び文部科学省革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術研究開発事業 (JPJ009777) の結果得られたものである。