

レーザー照射と通電加熱により形成した表面溶融シリコンの 静電応力とローレンツ力による引き上げ成長

Electromagnetic force pull-up growth of surface-melted silicon formed by laser irradiation and resistive heating current.

鈴鹿高専¹ ○(B)松本乃武¹, 西村 高志¹

Suzuka college¹, [○]Matsumoto Nobu¹, Takashi Nishimura¹.

E-mail: takashi@elec.suzuka-ct.ac.jp

1. はじめに

材料電磁プロセッシングは融液成長を主に磁場で制御し電磁鑄造などへ応用されているが、一方で静電場により融液成長を制御する手法の報告例は少ない。その理由は、静電エネルギー ($E \cdot D/2 = 4.4 \text{ J/m}^3$ ($E = 1 \text{ kV/mm}$)) は磁気エネルギー ($H \cdot B/2 = 4 \times 10^5 \text{ J/m}^3$ ($B = 1 \text{ T}$)) に対して5桁程度小さいためである。我々はこれまで、通電加熱により形成した局所 Si (シリコン) 融液の磁力 (ローレンツ力) による一軸引上成長の研究を行ってきた。¹⁾ 本研究ではレーザー照射と通電加熱の同時加熱により形成した局所 Si 融液へ電磁界場を印加し、静電応力とローレンツ力により一軸引上成長することで先端がファセット面で囲まれた鋭い突起結晶を形成する手法を研究し、材料プロセスへの静電応力の応用を検討した。

2. 実験方法

Si(001)基板 ($1.0 \times 18 \times 0.3 \text{ mm}^3$) から 1.5mm 上方にネオジウム磁石を配置し、基板表面へ 120 mT 程度の磁場を印加した。さらにこの磁石を電極と使用し -10 kV 程度の高電圧を印加した。真空装置内にてこの Si 基板へ通電加熱電流を 0.4 A から 8 A まで 2 A/s で流し、さらに基板中央部にレーザー径 1.6 mm ϕ , 15 W のレーザーを照射し、Si を局所溶融させた。通電電流が 8 A 到達後に電流とレーザー出力を 0A, 0 W とし、Si 融液を凝固し結晶成長させた。

3. 結果と考察

印加電圧 -10 kV にて通電加熱とレーザー照射により Si 基板を同時加熱すると、Fig. 1 に示すようにレーザー照射位置 (矢印 a) 周辺で Si 基板が溶融し、溶融した Si は基板上面部のレーザー照射位置近傍 (矢印 b) で凝固し突起状の結晶が成長した。基板上面方向はローレンツ力 ($I \times B$) の方向であった。Fig. 1(b) では -10 kV 印加時に成長した突起結晶の先端部の SEM 像を示した。-10 kV 印加時の突起先端の曲率半径は $0.11 \mu\text{m}$ 、高さは $793 \mu\text{m}$ であり、高電圧印加をしない場合は突起先端の曲率半径は $96 \mu\text{m}$ 、高さは $248 \mu\text{m}$ であった。高電圧印加により突起の曲率半径が小さくなり、高さが高くなった。この結果は、突起結晶成長時の先端部凸融液が静電応力で引き上げられたことを示す。融液成長では表面張力のため結晶構造の曲率が大きく丸くなる傾向があるが、融液が凸形状になると電界が集中するため静電応力が表面張力より強くなり融液が引き上げられたと推測される。一方、高電圧を印加せず磁場のみを印加した実験では、電流の方向を反転させローレンツ力の方向を反転させると Si 融液が基板背面に流れた。この結果は Fig. 1 では Si 融液がローレンツ力により基板上面へ保持されていたことを示す。高電圧印加により成長した突起結晶先端部 (Fig. 1(b)) はファセット面で囲まれており、先端部ファセットは基板と平行であった。我々の先行研究²⁾より突起結晶は基板よりエピタキシャル結晶成長しているため、このファセット面は(001)面である。さらに他のファセット面と(001)面との角度より{113}面と{111}面が成長していることが分かった。

本研究の結果、レーザー照射と通電による同時加熱法と強電磁界印加を組み合わせることで、先端がファセット面で囲まれた鋭い突起結晶を形成でき、融液成長への静電応力印加の効果を示すことができた。

4. 参考文献

- 1) T. Nishimura and M. Tomitori, Jpn. J. Appl. Phys. **62** (2023) 035503.
- 2) T. Nishimura and M. Tomitori, Jpn. J. Appl. Phys. **58** (2019) 025501.

謝辞 本研究は、中部電気利用基礎研究振興財団研究助成、立松財団研究助成、JKA 補助事業 (2024M-421)、フジクラ財団、池谷科学技術振興財団、科研費基盤 C (21K04912) より助成を受けて実施した。

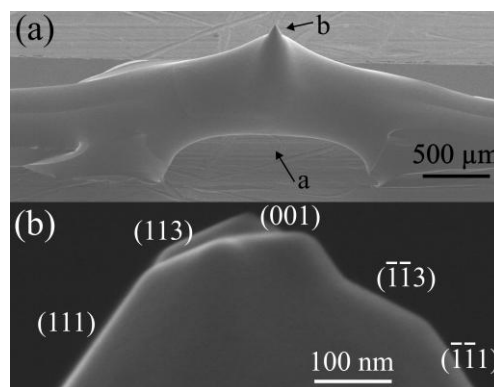


Fig. 1. SEM images of the front surface of the Si substrate after simultaneous laser irradiation and heating current application at -10 kV. (a) Low magnification SEM image of the Si substrate. (b) High magnification SEM image of the apex of Si protrusion.