

表面細路パターンの局所的な融液結晶成長による 高融点シリサイド電子ビーム源集積化の研究

Localized Melt Crystal Growth of surface Narrow Path
for High Melting Point Silicide Electron Beam Source Integration

M21助自87

代表研究者 西村 高志 鈴鹿工業高等専門学校 電気電子工学科 准教授

Takashi Nishimura

Associate professor, Department of Electrical and Electronic Engineering,
National Institute of Technology, Suzuka College Inc.

This study aims to integrate fine protruding crystals consisting of high-melting silicide, which is necessary for the development of vacuum electronic devices, by performing localized surface melt crystal growth on a surface narrow path pattern. Although the self-organized formation of microcrystals on the surface of Si surface melts by crystal growth has been studied, it has been difficult because the terraces spread and flatten due to the growth of step bunches. On the other hand, in localized surface melt crystal growth, the surface melt is transported to the local region, and epitaxial and faceted growth occurs during the deposition process, which prevents planarization and results in the growth of characteristic surface microcrystals such as square weights and cylinders.

In order to realize micro vacuum devices, it is necessary to develop micro electron source rows with a hard tip structure capable of high-current electron beam emission, but this has not been possible due to the difficulty of forming a hybrid crystal structure of silicide and Si with a high melting temperature due to the limited heat resistance of conventional resists. We have therefore conceived the idea of forming Si protrusion crystals with high-melting silicide (Mo, W, etc.) at the tip by applying the characteristics of local surface melt growth to the electron source. The silicide tip has a high melting point of about 2500 °C and strong mechanical strength due to its strong bonding with the Si substrate. In addition, it has excellent electrical and heat conduction properties and oxidation resistance, and is expected to be developed into a practical high-brightness and high-intensity surface electron source.

研究目的

本研究では申請者が発見し研究を進めている局所表面融液結晶成長を表面細路パターン上で行うことで真空電子デバイス開発に必要な高融点シリサイドからなる微細突起結晶の集積化を目指す。これまでSi表面融液を結晶成長させて表面に微細結晶を自己組織的に形成

する研究が行われてきたが、ステップバンチの成長によりテラスが広がり平坦化するため困難であった。一方、局所表面融液結晶成長では表面融液が局所領域へ輸送され堆積する過程でエピ成長やファセット成長するため平坦化が妨げられ四角錐や円柱など特徴的な表面微細結晶が成長する。

微細真空デバイスを実現するためには、大電

流電子ビーム放出可能で強硬な先端構造を持つ微小電子源列の開発が必要であるが、従来レジストの耐熱温度の制限のために高融点シリサイドとSiのハイブリッド結晶構造形成が困難であり開発できていない。そこで、申請者は局所表面融液成長の特徴を応用し、先端部に高融点シリサイド (Mo、W など) が担持したSi突起結晶を形成し電子源へ応用することを着想した。この先端部シリサイドは融点が2500℃程度と高く、Si基板との結合力が強いために機械的強度も強い。また、優れた電気伝導・熱伝導特性、耐酸化力を持つために、実用可能な高輝度・高強度の面電子源への展開を期待できる。

概 要

一般的な半導体製造プロセスでは、チェックラスキー法 (CZ法) やフローティングゾーン法 (FZ法) などを用いて熔融シリコン (Si) からSi結晶を成長させSiウェーハを製造する。その後、ウェーハをエッチングして微細パターンを形成し、電子デバイス開発へ応用している。これらの一般的な微細パターン形成プロセスでは、ドライエッチングやウェットエッチングによりSi表面を加工する方式であり、Si融液から自己組織的に微細構造を成長させるような「融液からの結晶成長の特徴」を利用した加工技術は使われていない。しかし一方で、融液からの結晶成長では、自己組織的に特徴的な結晶構造を形成することが可能である。例えば融液からの結晶成長では、球状結晶や様々な構造のデンドライトが成長することが確認されている。融液からの結晶成長を半導体製造プロセスに組み込むことができれば、短時間で大面積に微細パターンを自己組織的に形成できる可能性がある。

そこで本研究室では表面融液からの結晶

成長に興味を持ち研究を続けてきた。特にSiウェーハ表面の局所領域を熔融し、表面融液からの結晶成長により特徴的な突起結晶を形成する研究を行ってきた。Si基板を局所的に通電加熱して表面を熔融し、熔融Siが低温領域に流れ込み、液相エピタキシャル結晶成長によって突起構造が形成される。このとき、Si (001) 面では、突起の側面で[111]方向に小さな突起が成長した。Si (111) 面では、突起側面にこのような小さな突起は成長しなかった。これはSi融液が[111]方位へ成長する特徴を有するためである。また、Si (001) 面では、Si (111) 面よりも突起内部で金属析出物が形成され易い特徴があった。これらの結果は、突起の形状や突起内部の金属析出物がSi表面の結晶方位によって制御できる可能性を示唆している。

表面熔融からの結晶成長を電子デバイス開発に必要な微細パターン形成プロセスへ適用する場合、一般的にデバイス製造工程ではウェーハ表面のみに微細パターンを形成するため、ウェーハ基板の表面 (裏面ではない) のみの特定位置を熔融し結晶を成長させる必要がある。このため本研究室では、Siウェーハへ細路構造を形成し通電加熱することで、細路部のみが熔融し結晶成長する手法を提案し研究を行ってきた (T.Nishimura, Jpn. J. Appl. Phys. 60, 126506 (2021))。これまでの研究の結果、ウェーハ表面を裏面に対して高温にすると、溶けた細路が表面のみに蓄積し結晶成長することを明らかにしている。この手法をデバイス開発へ応用するためには、細路の通電加熱時に電子ビーム照射などにより表面のみを加熱する手法の検討が必要であった。

本研究では、申請者が発見し研究を進めている局所表面融液結晶成長を表面細路パターン上で行うことで真空電子デバイス開発に必要な高融点シリサイドからなる微細突起結晶

の集積化を目指す。この研究において、基板上面でのみ突起結晶を集積化する必要がある。そこで細路を形成したSi (111) ウェーハの表面を電子ビーム照射しつつ通電加熱することで、細路で溶けた熔融Siを再凝固させ突起構造の成長の研究を行った。電子ビームを表面へ照射すると表面で熔融が進み、同時に細路を通電加熱することで細路も熔融すると推測される。その結果、細路付近の表面のみで突起構造が融液から成長することが期待できる。

本研究の結果、電子ビーム照射の有無にかかわらず、細路を有するSi (111) 片を細路が断線するまで通電加熱した。すると細路の左右には突起が形成されていた。この突起先端部にはモリブデン (Mo) シリサイドが担持する構造であった。電子ビーム照射により表面を加熱しつつ通電加熱すると、細路表面及び電子ビーム照射位置近傍の表面が熔融し始めた。熔融したSiの多くは、熔融Siの表面張力により、細路から電子ビーム照射位置近傍の表面へ流出した。細路が断線した後、Si表面の温度が低下し、表面のみで熔融Siから突起が成長した。Si表面に電子ビームを照射しない場合、細路の熔融Siが表面と裏面に流れ込み、両面に突起が形成した。これらの結果から、多数の微細な細路を並列回路のように配置し、表面に電子ビームを照射しつつ通電加熱すれば、表面のみで多数の突起を熔融・凝固プロセスにより形成できることが予想される。この手法は表面融液からの結晶成長を応用した新規半導体プロセス開発の基盤になることが期待される。

－ 以下割愛 －