

# 超高真空熱昇華エッチングを用いた自己組織化 GaAs テンプレート 基板の作製

関西学院大学大学院理工学研究科  
物理学専攻 金子研究室 白 泰樹

半導体ナノテクノロジーの核技術と位置付けられるリソグラフィの中で、電子線直接描画は、生産性には劣るものの、微小線幅(<10nm)の形成やデザインルールをプロセスごとに変更可能な微細化技術として期待されている。電子線直接描画法は、レジスト膜に描画したパターンをエッチングにより現像する必要があり、細い電子ビーム径を得るための高加速電子線描画(50keV:<10nm)が過去から多用されている。しかしながら、この描画法では、レジスト内で電子が広範囲に後方散乱するため、レジスト感度の低下や解像度の劣化が生じる。レジスト膜には、感光感度の観点から有機材(PMMA)が一般的に用いられているが、分子量が非常に大きいため高解像度化には限界がある。高解像度を得るには、数 nm 程度の薄膜と、分子量が小さい無機レジスト膜を必要とする。しかしながら、無機レジスト膜の典型であるスパッタ SiO<sub>2</sub> 膜は、基板との界面制御に対するプロセス限界から、数 nm 程度の均一な薄膜形成は困難であり、感光感度も PMMA と比較して 3 桁以上低下(250mC/cm<sup>2</sup>)する。

そこで、近年、加速電圧を 5keV 以下にした低加速電子線描画が注目されている。この描画法は、表面近傍に電子の散乱中心を移動させ、感光感度の向上及び後方散乱の抑制を可能にする。しかしながら、低加速による電子線の揺らぎや基板自体の帯電によるラインパターンのずれが生じる。また、現像工程において、半強制的なエッチング法を用いるため、ラインエッジの荒れが生じる。その補正として、エッチング後に HF 処理を施し、ライン形状を調整する報告例があるが、原子レベルでの平坦性は得られていない。したがって、ライン形状に現れる不均一性の低減には、無機材料が高い感光機能を有すること、また、ライン形状の揺らぎを補正可能な表面加工を行う必要がある。

本研究では、レジスト材料として基板との親和性が最も高く、均一な薄膜が形成される自然酸化膜に着目した。材料系には III-V 族化合物半導体分野において、酸化膜や結晶面形成過程の研究蓄積が最も多い GaAs 系を対象にした。厚みわずか 3nm の GaAs 自然酸化膜に低加速電子線の直接描画(5keV)を行うことで、改質領域が高感度レジスト機能を有することを検証した。さらに、表面加工法として、超高真空環境下で自発的にファセット面が形成される昇華エッチング法を用いることで、歪んだライン形状に対する自己補正機能が発現することを見出した。その理由として、電子線による改質領域端では電子線がもつガウス分布のテール領域に相当するため、マスク機能(エッチング耐性)の安定性が弱まり、その結果、エッチング時のファセット形成駆動力(結晶面安定性)が優位になると考えられるからである。本実験では、昇華エッチング法における条件の最適化を行い、自己組織化を用いた昇華エッチング機構を解明するために、ファセット形成過程を観察した。

結果として、すべてのエッチング条件下で、傾向として狭い開口部(ラインパターンに囲まれた GaAs 表面)ほど深くエッチング(開口部:300nm 以下、深さ 70nm 以上)された。上記の結果から、本エッチング法を用いれば、サブナノ程度の開口部であっても、数十ナノメートル程度の深堀が可能であることが示唆される。この深堀は純粋な GaAs 昇華に加えて、基板から融解した原子が開口部からパターン上へマイグレーションした可能性が考えられる。この独自の昇華エッチング法において拡散に伴った安定面形成の確立に向け、供給 As<sub>4</sub> フラックスと昇華温度の最適化を行った。昇華温度:650、As<sub>4</sub> フラックス:0.7ML/s の場合、結晶面は {100} {110} {111} A 面から成る開口部は自己組織化的に形成され、感光感度は SiO<sub>2</sub> に比べ 3 桁低い 200 μC/cm<sup>2</sup> であった。しかしながら、エッチング速度の促進効果がある 0.7ML/s 以下の低 As<sub>4</sub> フラックス下の条件では、レジスト表面が崩壊した。低指数面の自己形成を伴うエッチング過程において、ライン幅は電子線描画領域に対してビーム径(500nm)以下に縮小加工された。さらに、パターンは描画方向を無視して正確な結晶方位に沿った。このライン幅の縮小は、改質自然酸化膜の熱耐性が結晶面の安定性に比べ低く、下地基板と改質領域の端が共に昇華エッチングされることを示している。本エッチング法により、電子線の揺らぎによるパターンエッジの荒れの補正が可能であることが示唆された。