



Title	超高真空電子ビーム描画装置の開発とナノファブリケーションに関する研究
Author(s)	廣島, 洋
Citation	大阪大学, 2000, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/43073">https://hdl.handle.net/11094/43073</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> 大阪大学の博士論文について

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	ひろ 廣 島 洋
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 15578 号
学位授与年月日	平成12年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学 位 論 文 名	超高真空電子ビーム描画装置の開発とナノファブリケーションに関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教授 蒲生 健次
	(副査) 教授 奥山 雅則 教授 岡本 博明

### 論文内 容 の 要 旨

本論文は6章により構成されており、内容は以下のとおりである。

第1章では本研究の背景、目的を述べる。

第2章では可動ステージに差動排気機構を与えるダブルチャンバーステージの開発により始めて実現した超高真空電子ビーム描画装置に関して記述する。作製した超高真空電子ビーム描画装置の試料室は従来と比較して2桁程度高い $3.5 \times 10^{-7}$ Paの真空度を実現した。また、電子ビーム描画装置としては最も微細なビーム径3nmを実現し、加速電圧50kV、ビーム電流100pAで80μm角のフィールド内での描画に利用することができる事を示す。フィールドつなぎ精度や重ね合わせ精度は標準偏差で14nm、18nmであり、通常の電子ビーム描画装置に比べて2倍程度の精度低下があるが、1フィールド描画では、重ね合わせ精度は標準偏差で9nmになり、最大20nm標準偏差で7nmのフィールド内の描画位置精度と、1nm/min以下の低ドリフト性能とあわせて非常に高い性能を有していることを示す。

第3章では、レジストへの高分解能パターン形成について検討する。PMMAやCalixareneレジストへの描画から、パターンの倒壊の問題について検討し、パターン形状の工夫や薄膜化でパターンの倒壊をある程度抑止可能なことを示す。また、Si上に形成されたSiO<sub>2</sub>膜に対しての高分解能パターン描画では、PMMAレジストと比較して、特に、パターンが密な領域で明らかに高解像性を示し、SiO<sub>2</sub>ではPMMAで報告されている最小ピッチの1/2である15nmピッチのラインパターンを描画することが可能であることを示す。

第4章ではそのSiO<sub>2</sub>レジストの現像プロセス等の検討と、SOI基板を利用する単電子トランジスタ素子作製プロセスへの応用について述べ、SiO<sub>2</sub>の現像液の検討から、現像感度の溶液依存性は無いが選択比の現像液依存があることを示す。BHF溶液での過剰のNH<sub>4</sub>Fによる選択比の低下に関して記述する。また、20Kでのクーロンステアカースを示す多段トンネルジャンクション構造の作製に関して記述し、さらに、使用済みのSiO<sub>2</sub>マスクの剥離までを行えるリストオフプロセスを提案する。

第5章においては、電子ビーム誘起堆積法によるダイレクトナノファブリケーションに関して検討する。電子ビーム誘起堆積法では、試料の清浄化が不十分な場合には、コンタミネーションの含有が少なく電気伝導度の高い膜形成を再現良く行うことが困難であることを示し、試料清浄化処理として300°Cの真空アニールと酸素プラズマ処理を行うことで、これまでに報告されている電子ビーム誘起堆積膜に比べて1~2桁低抵抗である300 μΩcm程度の比抵抗

の堆積膜を再現性良く堆積可能であることを示す。電子ビーム走査方法による膜形成結果の違いから、電子ビーム堆積では2次電子の影響が大きいことを示し、また、繰り返し走査でワイヤーを堆積する場合のガス供給と堆積膜厚の関係について検討する。さらに、電子ビーム誘起堆積により、ギャップ間隔を2.5nmの単位で制御したワイヤを作製し、ギャップ間隔によりトンネル接合特性を制御可能であることを示すとともに、単電子トランジスタ構造を作製し、230Kで示したゲート振動特性について記述する。

最後の第6章で全体を通じた結論を記述する。

## 論文審査の結果の要旨

微細集束ビームが得られる電子ビームは超微細加工ツールとして適し、超微細デバイスの製作技術として期待されおり、新しい電子ビーム加工装置と加工法の開発が望まれている。申請者は、超高真空電子ビーム露光装置を開発し、これを用いてレジスト描画および電子ビーム直接加工を行い、超高真空電子ビーム露光装置の有用性を実証している。

有効な電子ビーム直接加工を行うには、超高真空化が必須である。しかし、露光装置では、試料ステージの精密移動機構が必要で、そのため超高真空を実現することは困難であった。そこで、試料ステージと精密移動機構を差動排気によって分離することを試み、新しく2つの円盤のギャップによって差動排気するダブルチャンバステージを開発し、 $3.5 \times 10^{-7}$ Paの超高真空化とつなぎ精度14nm、重ね合わせ精度18nmの高精度位置制御機能を持つナノ加工装置を実現している。

ついで、試作した装置を用いてPMMAおよびカリクサレンレジストの描画を行い、レジスト分解能で決まる超微細パターンの描画性能を有することを示した。また、シリコン酸化膜をレジストとして用いてさらに微細な15nmピッチのラインパターンを描画している。これはシリコン酸化膜でこれまで得られた最小のパターンであり、超高真空化することによって、信頼性が向上し再現性よく描画できたものである。

ナノデバイスプロセスへの適用についても検討している。まず、シリコン酸化膜をレジストとして用い、20Kにおいてもクーロンステアケースを示すAl多重トンネル接合素子を作製した。これによってシリコン酸化膜がナノデバイス作製のためのレジストとして用い得ることを示した。ついで、電子ビーム誘起堆積法により、Wナノパターン膜の堆積を行っている。ここでは、試料室の超高真空化と試料清浄化処理が重要であることを見出しており、300°Cの真空アニールと酸素プラズマ処理が清浄化処理プロセスとして有効であることを示している。これによって、電子ビーム直接堆積法では困難であった $300 \mu\Omega\text{cm}$ 程度の比抵抗の堆積膜を再現性良く堆積できることを示した。また、この結果を適用して230Kの高温においてもゲート振動特性が観測できる単電子トランジスタを作製している。室温近くで動作する量子効果デバイスが望まれているが、その製作には超微細加工が必要である。申請者は超高真空電子ビーム描画装置を開発してはじめて、電子ビーム直接加工によって作製できることを実証したもので、直接加工によってプロセスは簡単化、高信頼化されることが期待でき、重要な成果である。

本論文はこのように、超高真空電子ビーム露光装置を開発し、これを用いてレジスト描画および電子ビーム直接加工を行い、超高真空電子ビーム露光装置の有用性を実証したもので、超微細加工技術の進展にとって重要な成果を得ており、学位（工学）論文として価値あるものと認められる。