108 電子ビーム微細加工技術の現状とその応用

The present condition of the electron beam micro-processing technology and its applications

○田口 佳男 (エリオニクス)

Yoshio TAGUCHI, ELIONIX Inc., 3-7-6, Motoyokoyama-cho, Hachioji-shi, Tokyo

At present, it is afraid of a limit of photolithography in the semiconductor field again to the requirement of which becomes rapidly minute electron beam lithography technology attention. As for the field as well, downsizing is the flow of the necessity as well as this except for the micro-machine which advanced micro-machining technology should lithography be necessary, the optical communication and so on we development research and development electron beam device use. So, the outline of the development device, an application example, and so on are shown about the study on the various adaptation fields that we advance it at present that report.

Key Words: Electron beam lithography, High accelerating voltage, Field emission, Spot beam, Direct writing

1. 緒言

現在、半導体分野では急激な微細化の要求に対し、フォトリソグラフィーの限界が懸念されており、電子ビーム露光技術が再び注目を集めている。また、これと同様に高度な微細加工技術を必要とするマイクロマシン、光通信などのハイテク分野においても、ダウンサイジングが必然の流れであり、機械的な加工法から電子ビーム露光プロセスを取り入れた加工法への転換が徐々に進行している。しかしながら、電子ビーム露光装置といえば、半導体生産用の非常に高価な装置をイメージし、また一方、研究用の電子ビーム露光装置では、各種デバイスの試作や高付加価値製品の少量生産などの試みに際し、性能面で対応できない場合が多い。このような現状を鑑み、我々は、扱いやすくコストパフォーマンスに優れた研究開発用電子ビーム露光装置の開発を行った。本報では、現在我々が進めている様々な適応分野への取り組みについて、開発装置の特長やアプリケーション例などを示し、その報告を行う。

2. 開発装置の概要

図1に我々が開発を行った高加速電界放射型電子ビーム露光装置（ELS-7700型）の外観を示す。

Fig.1 Field emission electron beam lithography system

通常、電子ビーム露光とは、半導体ウェハやメタルマスクなどの基盤表面に電子線レジストを厚さ500nm以下に薄くスピコートし、電子ビームを照射して感光させ、CAD入力された微細な図形パターンを高精度で転写する技術である。照射される電子ビームの形態には、スポットビームや成形ビームなどがあり、微細加工用には前者が用いられる。本装置で得られる最小スポットビーム径は2nm以下であり、また、最大75kVの加速電圧により、シャープなエッジ形状を持つアスペクト比の高い微細パターンが得られる。図2に、市販のポジ型電子線レジストを用いて描画を行った幅8nm孤立ラインの断面SEM写真を示す。また、表1には、本装置の主な仕様を示す。

Fig.2 Cross-section of 8nm line

ITEM	SPECIFICATION
Emitter	ZrO/W (TFE)
Beam blaker	Electrostatic
Magnetic lens system	3 electromagnetic lenses
Beam scanning	Electrostatic
Lithography method	Vector scan, Raster scan
Accelerating voltage	25 kV, 50 kV, 75kV
Electron beam shape	Round with gaussian distribution
Electron beam diameter	Φ2nm (Min)
Electron beam current	5x10 ⁻¹³ ~1x10 ⁻⁹ A
Scanning field	2,400 μm x 2,400 μm (Max)
Beam positioning	240,000 x 240,000 dots (Max)
Exposure area	X-150 mm, Y-145 mm
Work stage system	Step and repeat
Stage driving motor	Stepping motor
Laser interferometer	Measures in 0.6nm (X, Y) Height sensor 0.5 μm (Z)
Stitching accuracy	60 nm (3 σ)
Work piece size	Wafer 6" (Max) Mask 5" (Max)

Table.1 System specifications

3. 本装置の特長

以下に主な技術上の特長を列挙する。

- (1) 熱電界放射型の電子銃を搭載しており、ビーム照射電流を大きく設定してもビーム径の変化が小さく、また、長時間に渡り電流が安定している。
- (2) 電子ビームの加速電圧を最大で75 kVに設定でき、後方散乱電子の影響を小さくすることで高アスペクト比のパターンニングが可能である。
- (2) ズーム式レンズの採用により、ビーム照射電流量を変化させてもフォーカスに影響を与えることがなく、また、対物レンズの発熱を一定に保持できるため、温度ドリフトによる描画位置ズレを防止できる。
- (4) レンズ系アライメントに電磁方式を採用し、機械加工精度では得られない最良のアライメント調整が行えるようにした。また、アライメント調整を含む電子光学系の最適な条件設定値をメモリーすることでレシピ化し、随時再現できるようにした。
- (5) レーザーにより、描画位置毎に基盤表面の高さ検出を行うことで、フォーカスぼけを解消し、基盤のそりやステージ傾斜に関係なく広範囲において安定した露光結果が得られる。

4. アプリケーション例

本装置の代表的なアプリケーションには、極微細パターン露光、厚膜レジストを用いての高アスペクト比露光、ハーフトーン露光などがある。電子ビーム露光法の問題点として、後方散乱電子の影響、近接効果の影響などが挙げられるが、これらの問題は、加速電圧を高めることで軽減することが可能である。

Fig.3 Cross-section of 0.3 μm line and space pattern at 30kV

Fig.4 Cross-section of 0.3 μm line and space pattern at 75kV

図3は、通常より厚い1.5 μm 膜厚のレジストに対し加速電圧30 kVで0.3 μm ライン&スペースを描画した結果であり、図4の加速電圧75 kVで描画した結果と比較すると後方散乱電子の影響により、エッジ形状精度を悪くしているのがわかる。また、図5、図6は、段階的に露光量を変化させたハーフトーン描画例であり、マイクロレンズなどへの応用が期待されている。以上のように、形状精度を向上させ、また、局所的な露光量のコントロールを行うことで、電子ビーム露光技術においても微細な三次元構造体を創生することが可能になってきている。

Fig.5 Cross-section of 1.0 μm pitch brazed grating pattern

Fig.6 1.0 μm pitch circle brazed grating pattern

5. 結言

従来型の電子ビーム露光装置では、2次元パターンの転写がその主な役割であったが、我々が開発した装置では、加速電圧を高めることで、より微細に、またよりアスペクト比の高い加工が期待でき、積極的に3次元加工を行うことで多彩なアプリケーションが可能になってきた。また、前述のように、フォトリソグラフィーでの限界を感じている分野や、高付加価値製品の少量生産を目的とした場合、以前は、スループット、コスト、プロセス技術の確立などの諸問題から敬遠されていた電子ビーム露光技術であるが、フォトマスクなどが省略できることも手伝い、既に、スポットビーム方式の本装置を用いて、波長多重光通信システムにおけるWDMデバイス、SAWデバイス、マイクロレンズなどの微細パターンの直接描画、所謂直描による生産が行われている。その他にも、ゲノム解析用マイクロチップ、次世代型HDD、同DVDなどの分野における期待も大きく、新しいニーズにいち早く対応したアプリケーション技術の確立、装置開発が今後の課題である。