

ノート

FIB 加工特性

加沢 エルト*

Characteristics of FIB Milling

Elito Kazawa*

キーワード: 収束イオンビーム, マイクロマシン, イオンミリング

Keywords: Focused ion beam, MEMS, Ion milling, CAD

1. はじめに

従来、FIB (Focused Ion Beam: 収束イオンビーム) 加工は電子顕微鏡の試料切り出しを目的とし、数十 nm~数 μm の領域をミリング加工するのに用いられている。

その一方で、マイクロ放電加工やパルスレーザ加工は 10 μm 程度の寸法が加工限界であり、MEMS⁽¹⁾ (Micro Electro Mechanical System) で用いられるフォトリソグラフィ技術は汎用材料に微細な構造を形成するのが不得手である。

そこで、FIB を CAD 連携させ汎用材料に微細で複雑な加工を施すことについて検討した。

2. 加工原理

2.1 加工ビーム 本稿で用いた FIB 加工装置 (株式会社エリオニクス EIP-5400) は電子線描画装置 (Electron Beam Lithography System) の電子銃を Ga イオン銃に置き換えた構成をしており、ビームスキャン方法は電子線描画装置と同様のデジタルスキャン方式を用いている。

本来、ビーム径はビーム強度の半値幅 (FWMH) で規定されるが、イオンミリング加工においては加工仕上がりどビーム径が必ずしも一致しない (図1)。

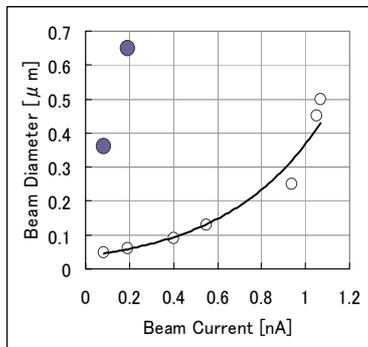


図1. ビームプロファイル
イオンビーム電流とビーム径の関係 (公称値) を示す。●は、単結晶シリコンに 30 秒間ビーム照射した時の加工径。

2.2 加工条件 予備実験の結果から、単結晶シリコンのミリング加工を行うのに適していると思われる条件を求め、この条件の時にシリコン以外の材料の加工仕上がりかどのようになるのかを調べた。加工試料は<100>Si, SUS 304 材, 洋白材, Ta 材, Mo 材, 珪素鋼板, 導電性ガラスである。

各資料の加工条件は、加速電圧 40kV 一定、イオン電流 0.1nA 一定、dot ピッチ 10nm 一定とし、掃引数 N を 25, 50, 100 回、1 掃引あたりのビーム滞留時間 DT (dwell time) を 5, 10, 20, 40 μsec/dot とした。DT と N は、積が一定になるように選定し一度に加工した。ミリング量については、SEM 観察において試料を 45 度傾斜させて測長することで算定している。

3. 加工結果

3.1 汎用工業材料の加工結果 ミリング量の比較を図2に、単結晶シリコンのミリングレートを図3に示す。

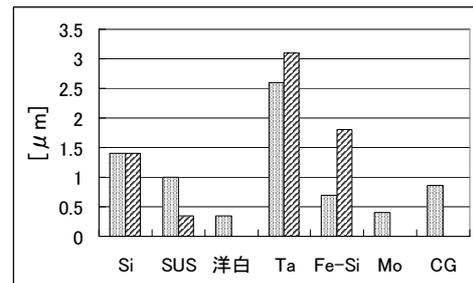


図2. ミリング量の比較 DT40 μsec/dot N100
Fe-Si は珪素鋼板を、CG は導電性ガラス表す
Si, SUS, Ta, Fe-Si は2つの試料加工を行った

シリコンのミリングレートのグラフを見ると、二乗近時曲線にほぼ一致していることから、DT が大きくなるとミリングレートが低下する傾向があることを示唆している。

3.2 汎用工業材料の加工面の比較 同一条件で FIB 加工したときの各種材料の加工結果を図4に示す。

単結晶シリコン材の FIB 加工面が平滑であり加工のばらつきが少ないと推定されるのに対して、SUS 材は加工面が粗

* 城南支所

く、加工量のばらつきが推測される。また、材料ごとに加工面の形態が大きく異なる。洋白材および Mo 材においては特異的にミリングされる箇所があるのが観測された。この特異箇所は基材に残っているロール痕状の箇所と一致していた。局所的に内部応力が異なっており、このことが FIB 加工に影響しているものと考えている。

汎用材料を FIB を用いて微細加工するには試料ごとにテスト加工を行う必要があるとともに、アニールなどの改質処理が必要になると推測される。

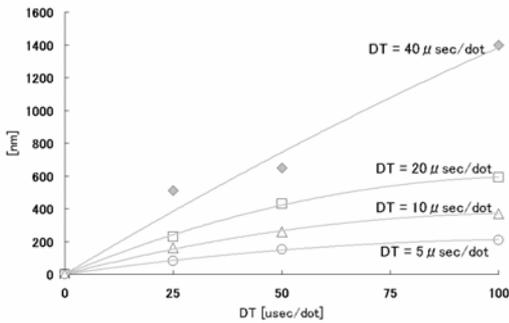


図 3. 単結晶シリコンのミリングレート
図中の曲線は二乗近似を行ったものである

4. マイクロレンズ用金型形状の試作

光通信部品や CCD の集光用途として、微小なレンズを安価に製造する技術が求められている。そこで曲面金型形状を FIB で加工可能であるか確かめた。加工試料には平滑な加工面が得られる単結晶シリコン基板を用いている。

本稿で用いた装置は Z 軸の駆動や加工途中の焦点変更ができないため、複数の同心円パターンを配置して FIB 加工すること、すなわち球面を複数の層にスライスして擬似曲面を形成する手法を試みた (図 5)。

試作結果を図 6 に示す。加工時間はおよそ 3 時間である。

イオンビームが極めてシャープであれば段差のついた形状に仕上がるはずであるが、加工結果は平滑な曲面になっている。これはイオンビームに強度分布が存在していることを示している。

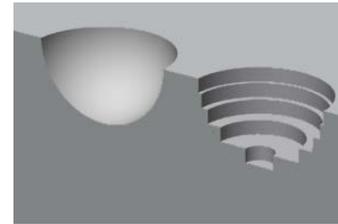


図 5. 半球面とスライス分割
右のようにスライスに分割し、擬似曲面加工することで左のような球面を得ることを試みた

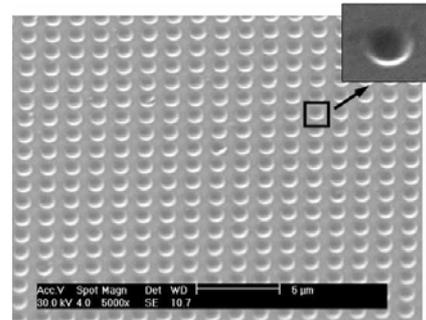


図 6. マイクロレンズアレイ型の試作結果
R500nm の半球面を 1.5 μm ピッチで 50×50 配置した

5. まとめ

CAD 連携可能な FIB 加工装置を用いて汎用工業材料のミリング加工を試みた。単結晶シリコンに比べて一般的な金属材料で平滑面を得るのは難しい。

CAD 連携 FIB の特徴を活かし、単結晶シリコンを多段ミリングすることでマイクロレンズアレイ用型の試作を行った。

(平成 18 年 10 月 25 日受付, 平成 18 年 12 月 4 日再受付)

文 献

(1) Sergey Edward Laysherve, "Nano- and Micro-Electromechanical Systems", erc press, 2005

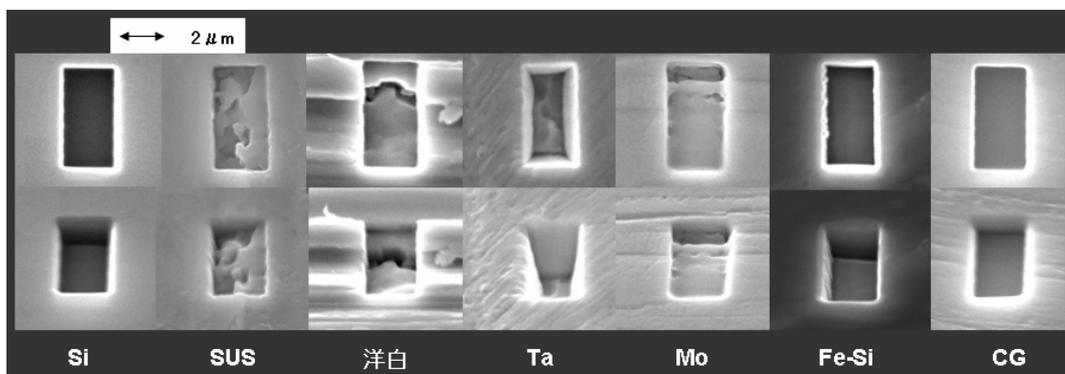


図 4. 汎用工業材料の FIB 加工面
加速電圧 40kV, ビーム電流 0.1nA, DT40 usec/dot, N100, 2×4 μm のポケット加工
図の上段は真上からの SEM 観察, 下段は試料を 45 度傾斜させて SEM 観察した