

センサーチップ製造に向けた大面積均一イオンビーム照射

Uniform large-area ion-beam irradiation for fabrication of sensor chips

藤巻 真¹⁾

左高 正雄²⁾

松田 誠²⁾

Makoto FUJIMAKI

Masao SATAKA

Makoto MATSUDA

¹⁾産総研

²⁾原子力機構

(概要)我々が開発した導波モードセンサー^[1]は、複数の共同研究先企業により製品化が実施されており、既に市販されている機種もある。チップ表面にナノ孔を多数形成し表面積を増加させた、導波モードセンサー用チップは、検出感度が著しく高いことから、その有用性が以前から報告されていた^[2]。しかし、ナノ穴付きのチップは量産方法が確立できていないため、まだ試供品のレベルに留まっている。ナノ孔の形成には、高速重イオン照射によって形成される潜トラックを選択エッチングする手法が適している。本研究では、このナノ孔形成技術を実用化するため、高速重イオンを大面積に均一に照射するプロセスを構築した。

キーワード：ナノ加工、大面積加工、製造プロセス、バイオセンサー、ポータブルセンサー

1. 目的 我々が開発している導波モードセンサーは、SiO₂基板上にSi層(厚さ25~220nm)とSiO₂層(厚さ約400nm)との層構造を持つ検出用チップを用いている。この表面SiO₂層に高速重イオンを照射して形成した潜トラックをフッ酸にてエッチングすると直径数十nmでアスペクト比が非常に高いナノ孔がランダムに形成できる。このナノ孔が形成された検出用チップは、ナノ孔を持たないチップに比べ10~50倍の高い感度を示す。本研究では、この検出用チップの量産化を視野に入れたイオン照射プロセスを構築する。

2. 方法 ビームラインにはL2ラインを使用した。照射するイオンは200MeV-Xeイオン(28⁺)を用いた。図1は、今回開発したビーム照射系の概略を示す。タンデム加速器にて加速されたイオンは、アパーチャー通過後、Qレンズによって成形された後、X-Yスキャナーに導かれる。開発した照射系では、ビームの横方向(X方向)スキャンはこのスキャナーで行い、縦方向(Y方向)のスキャンは行わず、試料ホルダーを上下に動かすことによって、Y方向への均一照射を試みた。X方向へのビームスキャン幅を確保するため、X方向スキャナー電磁石は2つ設置した。

照射試料には厚さ1.2mmのSiO₂基板上に厚さ45nmのSi層、厚さ530nmのSiO₂導波路層を持つ導波モードセンサー用チップを用いた。チップの大きさは14mm×18mmであり、横方向に3枚、縦方向に8枚のチップを試料保持板に貼り、照射を行った。試料保持板は165mm×50mmのアルミの板である。試料を貼り付けた試料保持板の様子を図2に示す。試料保持板は上下に最大150mm移動させることができる。図3は試料ホルダーとその駆動系の模式図と写真を示す。試料ホルダーは試料保持板が設置可能な面を6面持つ。その内1つの面にはファラデーカップが設置してある。またこの面には後述するイオン照射量を決定するための直径12.2mmの穴(照射密度測定用アパーチャー)が開いている。この照射密度測定用アパーチャーを通過して来たイオンビームのビーム電流を試料ホルダーの後方に設置したファラデーカップにて計測するため、この面と反対側の面には試料保持板は設置しない。よって、通常、この試料ホルダーには最大4枚の試料保持板を設置することができる。

所望のイオン注入量を得るために、以下の様にビーム照射条件の調整を行った。まず、図1に示したビーム診断プローブに設置されたワイヤーをX方向に挿入していき、X方向にビームが均一にスキャンされていることを確認する。均一性を確認した実験結果の例を図4に示す。次に、試料ホルダーを一定速度 S でY方向に移動させながら、このX方向に均一なビームを試料ホルダーに照射する。この時、照射密度測定用アパーチャーがビーム照射位置を通過する際、照射密度測定用アパーチャーを通過したイオンの総電荷量を試料ホルダー後方に設置したファラデーカップにて計測する。観測された総電荷量(C)を電気素量、イオンの価数(28)、穴の面積(1.17 cm²)より、試料ホ

ルダ一移動速度が S の時に、単位面積あたりに照射されるイオンの個数を見積もることができる。本開発では、試料ホルダーを1往復したときに所望のイオン注入量となるように、試料ホルダー移動速度 S を調整した。

イオン照射後の試料は、4.7%HF に2分浸漬してエッチングを行い、ナノ孔の形成を行った後、走査型電子顕微鏡 (SEM) にてナノ孔の径及び分布を確認した。

3. 結果及び考察 図5に形成されたナノ孔のSEM像を示す。この試料では、イオン注入量は 5×10^9 個/cm² となるように設定して照射を行った。四隅の試料及び中心の試料の合計5枚に対して各4点ずつSEM画像を取得し、ナノ孔の個数を数えたところ、平均個数は 4.5×10^9 個/cm² であった。使用したSEM測定における長さの測定精度誤差が $\pm 10\%$ 程度であったことから、ほぼ狙い通りの照射量のイオン照射が実施できていることが分かる。また、上記5枚の試料間での照射量の誤差は6%であった。このように、非常に均一性が高く狙った値からの誤差も少ない大面積イオン照射系を構築することができた。

最後に、量産を念頭に、繰り返し連続照射試験を行った。1回に試料ホルダーには4枚の試料保持板をセットし、各試料保持板には3×8枚のセンサーチップをセットした。真空引きが完了した状態で、13:00より加速器を起動させ、イオン照射を開始し、4枚の試料保持板の照射が完了したら、真空を破って試料交換をして、再度真空引き後イオン照射を行う。16:30までに、試料交換を3回実施し、合計12試料保持板に対してイオン照射を行うことができた。つまり、288枚のセンサーチップ、延べ面積726cm²のイオン照射が3.5時間で実施できたことになる。

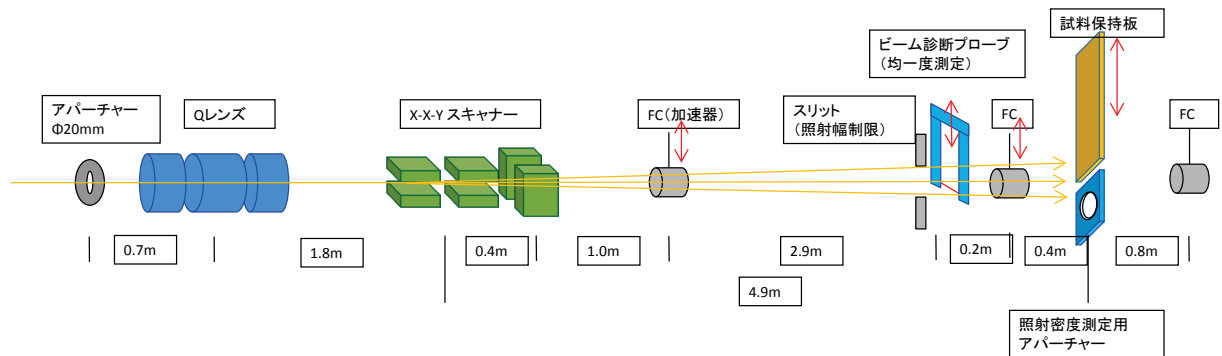


図1. 開発したビーム照射系の概略図

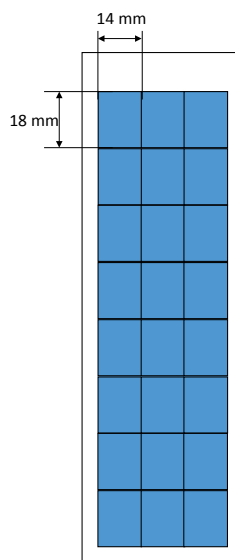


図2. 試料を貼り付けた試料保持板の模式図

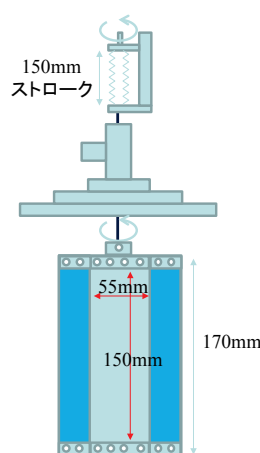
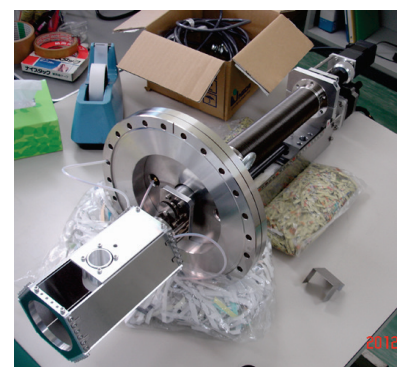


図3. 試料ホルダーとその駆動系の模式図(左)と写真(右)



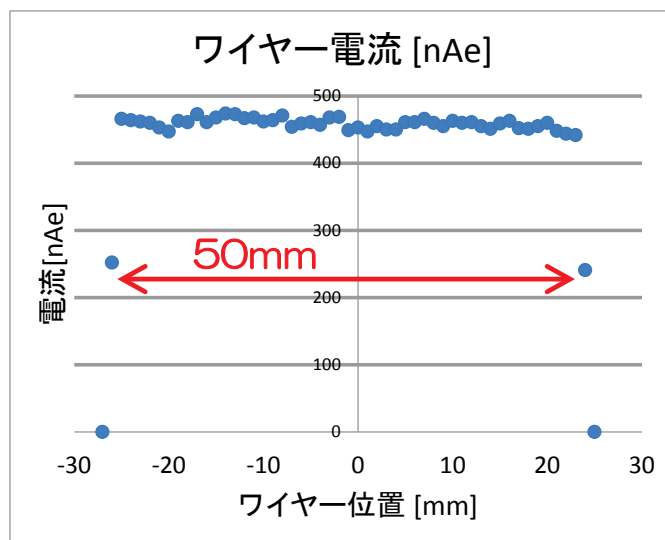


図 4. ビーム診断プローブに設置されたワイヤーを X 方向に挿入ながら観測したワイヤー電流とワイヤー位置の関係。ワイヤー位置によらず一定のワイヤー電流が観測されている。

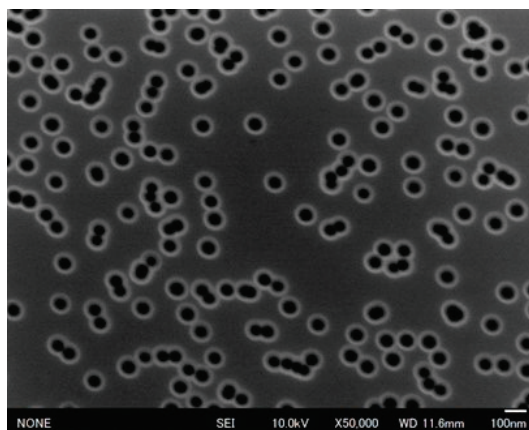


図 5. センサチップに形成されたナノ孔の SEM 像

4. 引用(参照)文献等

- [1] M. Fujimaki et al., ‘Parallel-incidence-type waveguide-mode sensor with spectral-readout setup,’ OPTICS EXPRESS, 23-9, pp.10925-10937, (2015).
- [2] M. Fujimaki et al., ‘Silica-based monolithic sensing plates for waveguide-mode sensors,’ OPTICS EXPRESS, 16-9, pp. 6408-6416, (2008).