309 Si ウエハのナノ引っかきによるナノ構造創成の検討

Examination of Nano-structures Generated by Nano-scratching of Si Wafer

精学 津村貴史 (茨城大院) 非 ○大谷健太郎 (茨城大工) 正 清水 淳 (茨城大工)
正 周 立波 (茨城大工) 正 江田 弘 (茨城大工)

Takashi TSUMURA, Graduate school, Ibaraki University, Nakanarusawa 4-12-1, Hitachi, 316-8511

Kentaro OHTANI, Ibaraki University, Nakanarusawa 4-12-1, Hitachi, 316-8511

Jun SHIMIZU, Ibaraki University, Nakanarusawa 4-12-1, Hitachi, 316-8511

Libo ZHOU, Ibaraki University, Nakanarusawa 4-12-1, Hitachi, 316-8511

Hiroshi EDA, Ibaraki University, Nakanarusawa 4-12-1, Hitachi, 316-8511

This study aims to clarify the possibility to achieve the line patterns generation on a silicon wafer surface at nm order by means of nano-scratching. This paper reports on the results obtained through several nano-scratching experiments by two types of diamond probes with radiuses of 50 nm and 120 nm by using an atomic force microscope (AFM). After several nano-scratching experiments, the shapes transcriptions were examined. As a result, the formation of scratch grooves with less than 100 nm deep and several hundreds nm wide can be generated by present diamond probes. And, it was also confirmed that the importance to sharpen the probe tip to obtain smaller scratching grooves.

Keywords: silicon wafer, diamond probe, nano-scratching, AFM, line patterns

1. 緒言

半導体デバイスはリソグラフィとエッチングの組合せを主体とした MEMS 技術によって製造され、それにより今日の高集積化や大量生産が成り立っている。しかしながら、その技術は多段の複雑な工程を要することや、生産コストが膨大になること、材質がシリコンに限られることなど、多くの問題を含んでいる。そのような背景のもと、ナノメートルオーダーの微細なパターンをより簡便かつ効率的に、また材料の制約を受けずに製作する技術が探求されている。その中でナノインプリントは最も注目されている技術の一つといえる。ナノインプリントによって、ナノ配線パターンを製作する際には、元となるモールドが必要となる。

本研究では、ナノ配線パターン用モールドの製作に対する、ダイヤモンドプローブによるナノ引っかき加工の可能性について検討している⁽¹⁾。本報では、原子間力顕微鏡 (AFM) を用い、先端半径 120nm 以下の二種類のプローブ (先端頂角 60 度と 80 度) によるシリコンウエハ表面上へのナノ溝パターンの創成実験を試み、溝パターンの寸法について評価した結果を報告する。

2. ナノ引っかき実験の概要

引っかきにおける垂直荷重を nN オーダで制御可能な原子間力顕微鏡を用い、可能な限り微小な引っかき溝の形成を目指す。

引っかき実験および表面観察装置として、走査型プローブ顕微鏡 (SII 製の SPA-300HV) を用いる。ここでは、引っかき・観察ともに、SPM の AFM モード (接触モード) を用い、一般的な原子間力顕微鏡観察と同様に、垂直荷重 (カンチレバのたわみ量) 一定のフィードバック制御を施しながら引っかき実験をする。Fig.1(a),(b)に本実験で使用したダイヤモンドカンチレバの電子顕微鏡写真を示す。Fig.1(a),(b)の左側の画像は、ステンレス製のカンチレバ先端にダイヤモンド単結晶 (頂角 60 度, 80 度) のプローブが固着されている概観を示しており、右側の画像はその切れ刃の拡大画像を示している。このような高剛性のカンチレバを用い、高アスペクト比の引

っかき溝パターンを取得するために AFM モードのベクタスキャンにより垂直荷重一定で試料表面に直線溝加工を行っている。これまでの経験から、極低荷重でのたった一回の引っかきによる直線溝加工では、Si の弾性回復の影響が顕著であったため、ここでは 1 往復の引っかきにより引っかき溝を創成する。引っかき直後に行う引っかき溝の観察には、引っかき実験に利用したダイヤモンドプローブをそのまま利用する。

3. 実験結果および考察

実験条件を Table 1 に示す。引っかき環境を大気中・室温とする。Si (100) 面を垂直荷重 2.2, 4.3, 6.5, 8.6 μN で [100] 方向に長さ 10 μm 引っかく。ダイヤモンドプローブの先端半径は Fig1.(a),(b)より、頂角 60 度は 50 nm、頂角 80 度は 120 nm である。また、高垂直荷重に耐用できるような高剛性 43 N/m のカンチレバを利用している。

Fig. 1 Diamond probe bonded on a cantilever

Table 1 Experiment condition

Workpiece	Monocrystalline Silicon Si(100)
Probe(Tool)	Monocrystalline Diamond
Vertical angle	60, 80 degree
Cutting edge radius	50, 120 nm
Environment	Air
Temperature	290 K
Applied load	2.2,4.3,6.5,8.6 μN
Scratching length	10 μm
Scratching direction	[100]
Cantilever stiffness	43 N/m

Fig. 2 AFM images of silicon surface after scratching

Fig.2(a),(b)と Fig.2(c),(d)は, Fig.1 に示したプローブ先端頂角が 60 度, 80 度の二種のダイヤモンドプローブによる引っかかり後の AFM 像と引っかかり溝の断面曲線を示している。

これらの結果より, Si ウエハ表面にダイヤモンドプローブの先端形状をほぼ反映した引っかかり溝が形成されている様子,

Fig. 3 Depth and width vs. normal load

および荷重とともに溝の深さと幅が増加する様子がわかる。

Fig.3(a),(b)は, 先に述べた二種のプローブを用いて, 垂直荷重に伴う引っかかり溝深さと幅の変化を調べた結果である。

Fig.3 から, 荷重である 2.2~6.5 μN の領域における引っかかり溝深さは, 頂角 80 度より 60 度のプローブを用いた方が, 深さ・溝幅ともに大きくなっていることがわかる。このことから, 鋭利なプローブの方がより微細な溝パターンを形成できることがわかる。ただし, 頂角 60 度のプローブによる荷重 8.6 μN での検討結果から, 荷重の上昇に伴う溝深さの増加は認められず, 頂角 80 度における結果とほぼ同程度の値を示している。そこで, 引っかかり後にプローブ先端を SEM 観察したところ, 頂角 60 度のプローブ先端は, 極微細なチッピングと摩耗により, 先端が若干平坦化(直径 200 nm 弱)していることがわかった。一方, 頂角 80 度のプローブの先端では, 摩耗はほとんどみられなかった。このことから, 極微小の溝パターンを創成するには, 先端が鋭利である方が鋭利であるものの, 工具損耗の限界荷重は低くなることも確認できた。

4. 結 言

鋭利なダイヤモンドプローブによるシリコンウエハ表面の引っかかりによるナノ溝パターン創成について検討した。極微小の溝パターンを創成するには, 先端が鋭利である方が有利であるが, 工具損耗の限界荷重は低くなることを確認した。

参考文献

- (1) 津村・岡部・清水・周・江田, 精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (2007) 281.