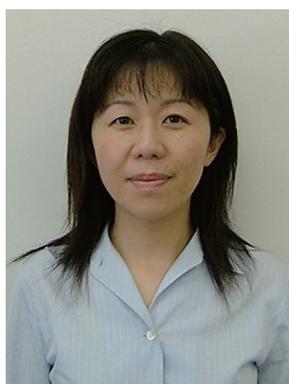


半導体製造機器の基礎データとしての微粒子計測 ～ナノ粒子の形状とシリコン基板からの剥離力～

東京エレクトロン株式会社 齊藤 美佐子, 川村 茂
産業技術総合研究所 (微細構造解析プラットフォーム) 井藤 浩志



(左から) 東京エレクトロン株式会社 齊藤 美佐子, 川村 茂, 産業技術総合研究所 井藤 浩志



1. はじめに

ナノテクノロジー (ナノテク) に関連する技術は、材料から半導体デバイスに至るまで、多岐にわたって、産業界の至る所で使われている。ナノテクを利用するためには、その作成技術と、その評価技術が重要である。産業技術総合研究所の微細構造プラットフォームでは、ナノスケールでの形態を可視化する有力な手段の1つである、走査プローブ顕微鏡 (SPM) を産業界のユーザーのために機器公開している。公開機器の名称はリアル走査型プローブ顕微鏡 (RSPM) と名付けられ、R (リアル) には、「実」材料・「実」デバイス・「実」環境・「実」時間観察・「実」形状などのさまざまな意味が込められている。これらの「R」を多くの人に使って頂けるよう、その測定環境を整備している。(図1)



2. 産業界の研究開発のための原子間力顕微鏡

SPM は見たいものが見えないと良く言われる。これは、機器の発明からまだ四半世紀を超え、多機能の装置が販売され始めたが、依然として、その完成度や試料処理ノウハウが十分で無いからである。現在も、目に見える速

さで機器の改良が続いており、最先端の機器ならなんとかなるのではないかと期待も多く、最先端の研究会で見る SPM 画像は、非常に綺麗である。平坦な表面の計測は容易である反面、「実」材料・デバイスでは、必ずしも平坦な清浄表面ではなく、非常に多くの計測ノウハウを要する。現状では、試料か装置のどちらか一方を工夫して計測可能にする必要がある。

もう1つの問題は、ナノスケールでの機能発現 (電気特性や機械特性等) を高分解能で可視化する要請である。カンチレバーの特性が改良され、先端の材料等の種類が増え、飛躍的に計測が可能な対象が増えつつある。ナノ物性 (種々の機能発現) を、再現性よく計測するための原子間力顕微鏡測定環境を、産業技術総合研究所・微細構造解析プラットフォームで提供している。周辺計測機器や特殊な試料処理を含めて、対応することが可能である。



3. 研究の背景

先端半導体デバイスのスケールが 20nm 未満になり、ナノメートル寸法の微細な汚れや欠陥の影響も無視できなくなってきた。汚れの寸法が小さくなると、体積に対して接触面積の割合が相対的に大きくなり、かつ、微細なパターンは倒れやすくなる。半導体作製プロセス後の

洗浄工程が、プロセスの限界を決定づけるかどうかの検討を行った。合理的な洗浄工程を実現するためには、パターンを倒壊させる力に比べて、粒子を取り除く力が小さくなければならない。サブミクロン程度の粒子については、測定例があるが [1], 100nm 以下の粒子に対しては詳細なデータが存在せず、詳しく調べる必要がある。洗浄工程の開発に必要な、粒子寸法と粒子を取り除くために必要な力の関係を詳しく調べた。



4. 実験装置の準備

微粒子と基板との接触面積は、粒子の形状に依存する。まずは、粒子サイズが計測しやすいポリスチレンラテックス (PSL) 粒子について、基板と剥離力を調べた。剥離

力は、図 2 に示す、AFM の 4 分割検出器の摩擦方向の信号を利用した。まず、AFM のダイナミックモードを利用して粒子の分布、および、形状を計測した。PSL のような等方的な粒子の場合は、高さから粒径を計測する方法を採用した。その後、コンタクトモードに切替えて、図 2 の右図のように、横から AFM 探針先端で押しつけて粒子を移動させ、粒子が動かす力を計測した。ダイナミックモードからコンタクトモードへの測定モードの切り替えにおいては、カンチレバーの反りの変化等に起因する探針先端位置の補正を行った。横から粒子を押すときに、水平力で探針が左右に動くことを防止するために、同程度の垂直力に加え、粒子に接触する直前に探針 (カンチレバー) のフィードバックをオフにして、水平力を記録した。図 3 は、PSL 粒子を動かす前後の AFM 画像、および、検出された摩擦信号である。粒子を左側から右に押ししていくと、



図 1 産総研・微細構造解析プラットフォーム リアル走査型プローブ顕微鏡 (RSPM)

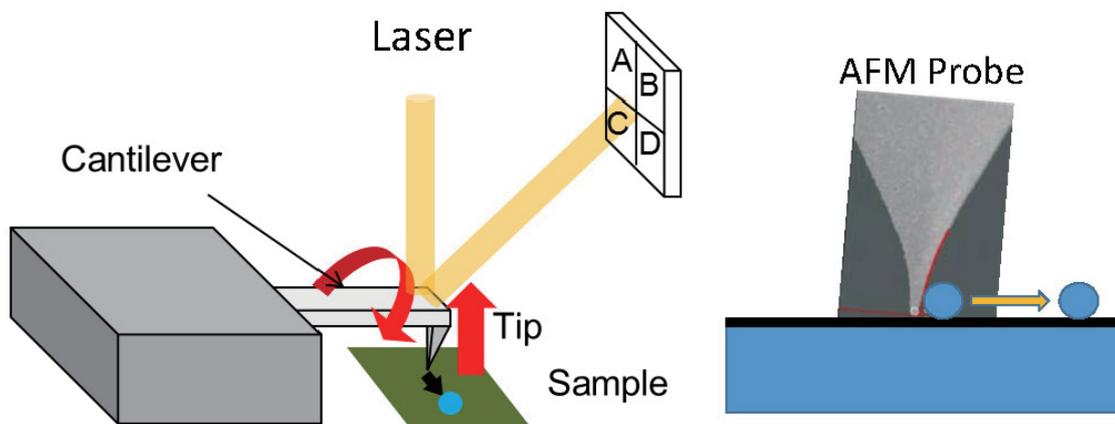


図 2 AFM 探針を利用した粒子の付着力 (剥離力) 測定の概要

ナノ粒子に探針が接触した所で、摩擦信号のピークが見られる。このピークの高さから粒子を動かす剥離力（粒子を横に動かす最小の力）を求めた。

PSL、および、シリカ粒子は、標準粒子として販売されているものを利用し、シリコン基板にスピコートを利用して塗布した。なお、シリカ粒子のような不定形の粒子については、探針形状を測定して、高さや粒子幅を求め、平均粒径を計測した [2][3][4]。



5. 粒子の寸法と剥離力

PSL 粒子、および、シリカ粒子と剥離力の関係は図4の通りである。微粒子が付着直後の状態であれば、その剥離力（=粒子の付着力、又は、接着力）は300nmのPSL粒子で約250nN、300nmのシリカ粒子で約100nNであった。直径20nmの微粒子まで調べたが、粒径が小

探針を利用して、粒子を移動させた瞬間の最大摩擦力

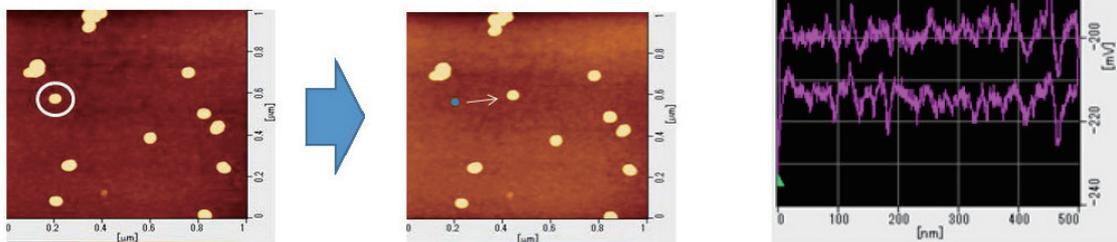


図3 粒子の移動前後のAFM画像（左図；1 μm 視野），および、動かした時の摩擦信号の変化（右図）

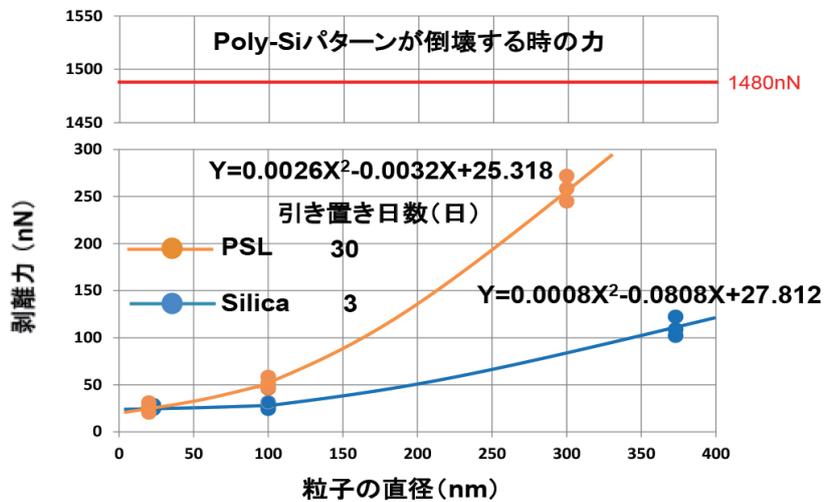


図4 粒子形状と剥離力の関係

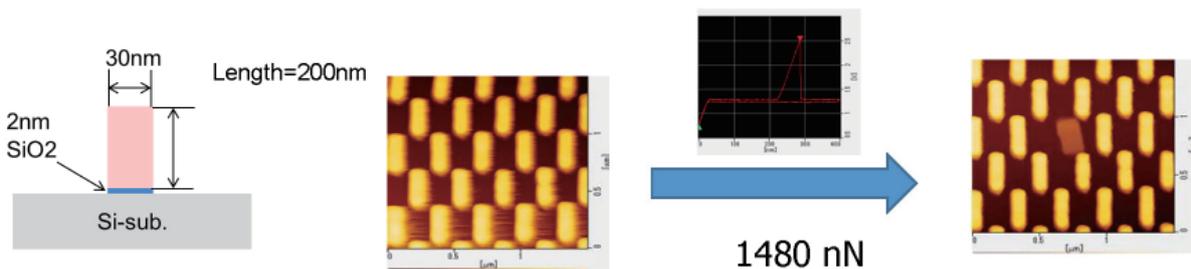


図5 30nm のポリシリコンパターンを倒壊する力測定のプロット

さくなるとともに、剥離力は小さくなった。図5に示すように、30nmのポリシリコンで形成されたパターンを、探針を利用して、横から力を加えて倒す力は、1480nNであった。これは、300nm以下の微粒子をシリコン基板から除去する(移動させる)力よりも十分に大きく、パターンを倒さずに微粒子状の残留物や汚れを除去する可能性があることを意味している。上記の実験過程で、シリカ微粒子を数カ月間放置すると、剥離力が数倍になる現象が見られた。これは、大気中の水分で微粒子とシリコン基板の酸化膜が固着した結果と考えられる。したがって、汚れは付着後、ただちに除去することが必要である。



6. まとめ

ナノ寸法の粒径、粒子の剥離力、パターンの倒壊させる力等を計測するシステムを構築し、次世代のシリコンウエハの洗浄工程の可能性を探った。パターンを倒壊させる力、および、粒子を取り除く力を計測し、その大きさの比較を行った。その結果、微細化が進んでも、コンタミを長時間放置するようないことが無ければ、パターンを倒さずに微粒子を除去する洗浄工程を、構築可能であるとの知見が得られた。



7. 謝辞

本研究は、文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム事業の支援・協力を受けて行われた。



参考文献

- [1] T.-G. Kim, K. Wostyn, T. Beard, J.-G. Park, P. W. Mertens, and M. Heyns, ECS Transactions, 25(5) 203-210 (2009).
- [2] J. S. Villarrubia, J. Vac. Sci. Technol. B14, 1518, (1996).
- [3] H. Itoh, T. Fujimoto, and S. Ichimura, Rev. Sci. Instrum. 77, 103704, (2006).
- [4] H. Takenaka, M. Hatayama, H. Ito, T. Ohchi, A. Takano, S. Kurosawa, H. Itoh, and S. Ichimura, J. Surf. Anal. 17, 264, (2011).
- [5] H. Itoh, H. Takagi, C. M. Wang, Proc. of SPIE Vol. 7971, 79711A, (2011).

(東京エレクトロン株式会社 川村 茂)



【お問い合わせ】

微細構造解析プラットフォーム
産業技術総合研究所 計測フロンティア研究部門
☎ 029-861-5300
E-mail ancf-contact-ml@aist.go.jp

ホームページ

<https://unit.aist.go.jp/riif/>