

局在光を用いたシリカ・ナノ粒子の接触洗浄現象の実時間観察

○草津航平^{*1}, 寺山裕^{*2}, ◎カチョーンルンルアン パナート^{*3}, 濱田聡美^{*4}, 和田雄高^{*4}, 檜山浩國^{*4}

^{*1}九州工業大学 情報工学部, ^{*2}九州工業大学大学院 情報工学府, ^{*3}九州工業大学 大学院情報工学研究院, ^{*4}荏原製作所

要旨

半導体製造プロセスでポリシングされた基板表面にナノ粒子が残留することは欠陥の原因になる。効果的な粒子洗浄の実現には洗浄メカニズムの解明が必要不可欠である。洗浄工程中の動的な表面洗浄メカニズムを解明するために、PVA ブラシ接触洗浄工程を再現し、表面近傍に局在するエバネッセント光を用いた。シリカ粒子除去現象の実時間観察を行い、ブラシ通過中の粒子の挙動を確認できたので報告する。

1. 緒言

近年PCスマートフォン等の高性能化のために半導体集積回路の配線幅の微細化や多層配線構造化が進んでいる。このような複雑な構造を持つ半導体の製造プロセスにおいて、基板表面を平坦化するCMP(Chemical Mechanical Polishing)工程の使用頻度が高くなった。しかし、この工程でポリシング粒子として使用されるナノサイズ粒子が配線上や配線間に残留すると半導体の歩留まり低下の原因となる⁽¹⁾。このナノ粒子を除去する工程としてブラシを接触させる接触式洗浄工程と超音波や二流体ジェットによって取り除く非接触洗浄工程が挙げられる。本稿では、最も基本的な洗浄である接触洗浄に着目する。Fig.1はPVAブラシを用いた基板表面のナノ粒子を除去する接触洗浄工程の模式図を示す。基板表面に付着した粒子は、その近傍をブラシが移動することにより、流体力学的な作用および直接の相互作用によって除去されていると考えられている⁽²⁾。接触洗浄工程前・工程後の静的な観察でウェハ上のナノ粒子の除去が確認されているが、洗浄工程中の動的な洗浄メカニズムは未だに解明されていない。そこで我々は、PVAブラシ接触洗浄工程を再現し、表面近傍にのみ発生するエバネッセント光(局在光の一種)を用いて、シリカ粒子の除去現象を実時間で観察したので報告する。

2. エバネッセント光によるシリカ粒子除去現象の観察手法

PVAブラシ洗浄工程での基板表面近傍に限定された極微小空間での粒子やブラシの相互挙動を観察する手法として表面にのみ発生するエバネッセント光を応用した。Fig.2はエバネッセント光の概略図である。高屈折率媒体から低屈折率媒体にレーザー光を入射し全反射させる際、低屈折率側に数百nmのレーザー光の回折限界光束幅より染み出し深さの薄い光が生じる。この染み出した光をエバネッセント光という。エバネッセント光は発生面垂直方向へは指数対数的に減少するので、観察対象物が表面に近いほど散乱光強度は高くなる⁽³⁾⁽⁴⁾。また、シリカ粒子とPVAブラシからの散乱光を区別するために、シリカ粒子は波長450nmのレーザー光で励起すると波長600nmで蛍光するものを用いた。これにより、蛍光しないPVAブラシと蛍光するシリカ粒子が識別でき、接触洗浄工程での粒子除去現象をFig.3のように観察することが可能になる。

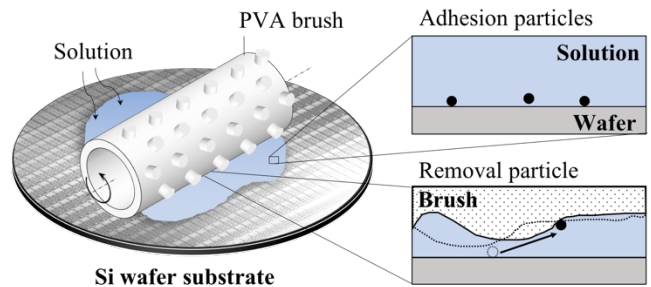


Fig.1 Cleaning phenomenon during scrubbing by PVA brush

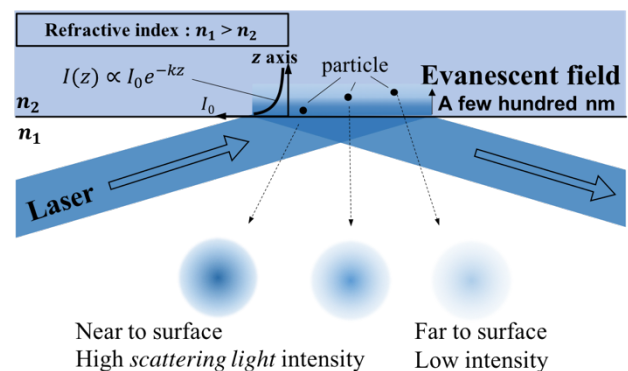


Fig.2 Scattering light from a particle in evanescent light

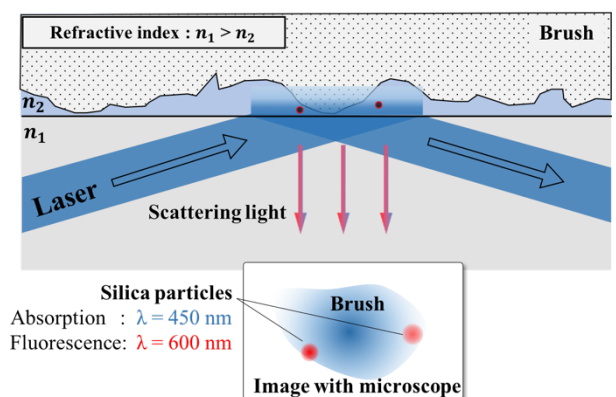


Fig.3 Evanescent field for observing silica nano-particles and PVA brush

3. シリカ粒子除去現象観察実験装置および方法

エバネッセント光を用いた観察装置⁽⁶⁾の概略図をFig.4 に示す。光学系の仕様はTable.1 に示す。本実験では、シリカ粒子（呼び径 100 nm）を付着させたガラスレンズの平面上に波長 450 nm のレーザー光を入射させ、エバネッセント光を発生させた。その後、純水を染み込ませたPVAブラシノジュールの無スキン層側をガラス表面上で動かし、その時のシリカ粒子とブラシからの散乱光をCMOSカメラ(Baumer ; VCXU-04C)で録画した。観察条件は露光時間 16 ms, ゲイン 5 dB, フレームレート毎秒 60 枚であった。

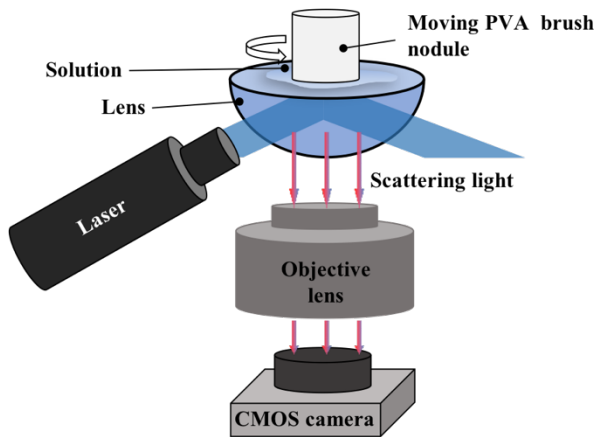


Fig.4 Developed optical setup for observation of removal phenomenon observation of silica nano-particles during scrubbing by PVA brush

Table.1 Optical systems specification

Laser		
-Wavelength	[nm]	450
-Incident angle	[deg]	70
8-bit CMOS camera		
-Pixel size	[μm^2]	6.9 x 6.9
Optical system		
-Total magnification		70x
-Numerical aperture (NA)		0.45

4. シリカ粒子除去現象の観察結果

シリカ粒子を付着させたガラス表面上で、PVAブラシを動かし洗浄現象を観察した。なお、画像処理として、変化のない背景を観察動画から除去し、波長 600 nm で蛍光するシリカ粒子（呼び径 100 nm）からの散乱光を強調するためにcontrast stretchingにより赤色成分のみコントラストを 16 倍にした。画像処理を行った観察結果をFig.5 に示す。波長 450 nm のレーザー光でエバネッセント光を発生させ実験を行ったとき、シリカ粒子は赤色、ブラシは青色で観察でき、シリカ粒子とブラシの識別が可能であった。Fig5(a-1, a-2)のようにガラス表面に付着したシリカ粒子は、Fig5(b)でブラシの接触部がガラス表面を約 5 mm/s の速度で通過しているときでは移動していないが、通過後 (Fig5(c)) にはすでに除去されていた。すなわち、このブラシ接触部では、通過途中から通過後にかけてシリカ粒子が除去されたことがわかる。このように蛍光シリカ粒子を用いて、PVAブラシの通過中でもシリカ粒子の挙動が観察できる。

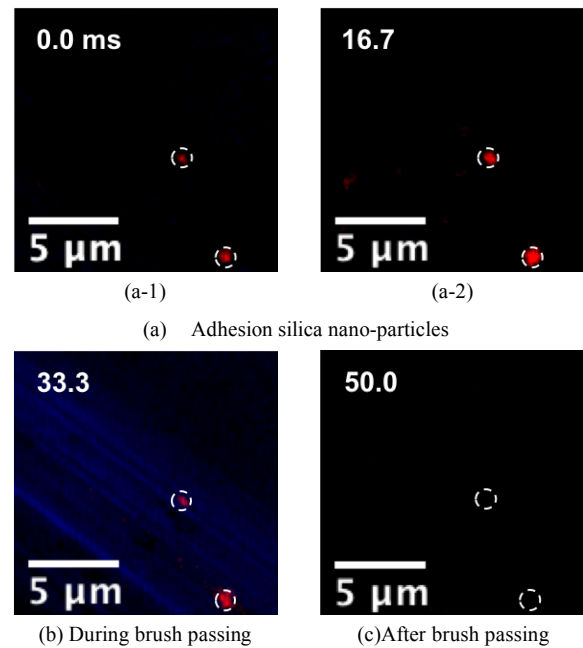


Fig.5 Removal phenomenon observation of adhered silica nano-particles

5. まとめ

エバネッセント光を用いた蛍光シリカ・ナノ粒子の接触洗浄現象の実時間観察により以下のことがわかった。

- エバネッセント光を用いて基板表面に付着した粒径約 100nm のシリカ粒子の接触洗浄現象を実時間で観察することができた。
- 波長 450nm のレーザー光で励起される蛍光シリカ粒子を用いることにより、蛍光しないPVAブラシとの識別が可能である。

参考文献

- (1) 佐藤淳一:「よくわかる最新半導体プロセスの基本と仕組み」, 株式会社秀和システム, 第2版, (2013)
- (2) 真田俊之, 福永明, 檜山浩國: PVA ブラシによるスクラブ洗浄, 日本混相流学会, 32 巻, 2 号, (2018)
- (3) 高橋哲: 近接場光を利用した界面・表面層評価技術, 精密工学会誌 Vol.73, No.8, (2007)
- (4) Panart Khajomrungruang, Patrick J. Dean, and S. V. Babu: Study on Sub 50 nm sized particle dynamic observation in water using evanescent field with mobile apparatus, Proc. of ASPE Ann. Meet, 29, pp 73-77 (2014)
- (5) カチョーニルンルアン・パナート, 木村景一, S.V. Babu, 鈴木恵友: ナノスケールにおける加工現象可視化に関する研究:装置の開発, 精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, B07, (2015)
- (6) 寺山裕, 中野亜沙人, カチョーニルンルアン・パナート, 鈴木恵友, 和田雄高, 濱田 聡美: 局在光を用いた窒化・酸化膜近傍における超微粒子離着現象の実時間観察に関する研究, 日本機械学会関東支部第 24 期総会・講演会講演論文集