

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 25 日現在

機関番号：17104

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25870514

研究課題名(和文) 機上ポリシング加工現象観察装置の開発およびその現象解析

研究課題名(英文) On-Machine Polishing Phenomena Observation Apparatus Development and Its Phenomenon Analysis

研究代表者

カチョーンルンルアン パナート (Khajornrungruang, Panart)

九州工業大学・情報工学研究院・助教

研究者番号：60404092

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：ポリシング加工現象を解析するため、被ポリシング面(被加工領域)にエバネッセント光(近接場光)を発生させ、被加工領域に侵入するナノ微粒子の挙動観察を行なった。独自に開発したポリシング機に搭載できるポリシング現象可視化装置により、ポリシングの現象を再現し、SiO<sub>2</sub>基板で粒径15～100nm(4H-SiC基板では粒径50nmのシリカ)の粒子の挙動を動的に毎秒100フレームで観察することに成功した。

研究成果の概要(英文)：This study proposes the concept and a state-of-art compact and mobile apparatus for dynamically observing sub 50 nm-sized moving particles on the surface being polished by using an evanescent field, in purpose to apply for investigating polishing phenomena. By this method, only the particle near the surface can be visualized due to the limited range of the localized evanescent field. Therefore, an observed image of scattering light from each nano-particle, not an image of the particle, will have high contrast since there is no scattering light from other particles that are out of the evanescent field.

The developed mobile apparatus approximately has 350 mm long, 150 mm high, 100 mm wide in dimensions and 15.7 N in weight. The scattering light from moving nanoparticles in polishing can be dynamically (up to 100 frame/s) observed down to 15 nm (down to 50 nm for moving particles on 4H-SiC surface) with the developed compact and mobile apparatus.

研究分野：光応用加工・計測

 キーワード：polishing phenomena nanoparticle scattering light SiC optical microscopy evanescent wave  
laser visualization

### 1. 研究開始当初の背景

半導体デバイスは、平滑平坦に仕上げられたウェハ上に集積回路の素子が構成されている。平坦化プロセスとして、CMP (Chemical Mechanical Polishing; 化学的機械的ポリッシング) 技術が採用されている。Fig 1 に CMP プロセスの模式およびポリッシング布 (パッド) とウェハ間での微小領域を例示する。

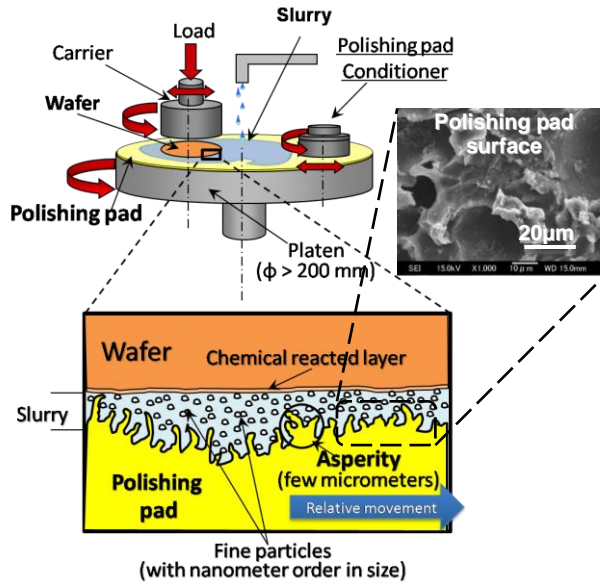


Fig 1 Schematic concept of CMP

CMP プロセスによる材料除去現象は、スラリー中の化学溶液成分により軟弱化したウェハ表面の材料が化学反応膜に凝着した微粒子 (粒径数 100nm 以下) および回転機構で発生したスラリ流れの機械的運動により、取り除かれることで進行すると考えられている。微粒子の機能は機械的に捉えられているが、一方で CMP に一般的に用いられるシリカ微粒子は軟質であり、機械的材料除去が発生しているとは考えにくい。シリカ微粒子に関して、被ポリッシング面に形成された水和分子層に微粒子が凝着した後離れることにより、材料除去が進行すると考えられている。それらの現象が微粒子とスラリ流れがポリッシングの微視的挙動に直接影響する。さらなる高能率 CMP を実現するにはこのポリッシング現象を解明する必要がある。

### 2. 研究の目的

これまでポリッシング現象を観察した例が本研究の協力者ら以外他になく、材料除去の現象観察が一般的にできないとされてきた。本研究では、ポリッシングの実機におけるポリッシング現象を観察する手法の確立を主な目的とする。次にポリッシングの加工支配因子と材料除去メカニズムの関係を微粒子挙動から明らかにすることを目指す。

### 3. 研究の方法

#### (1) ポリッシング現象の観察手法の提案

被ポリッシング面近傍の現象を観察する手法は Fig 2 に示す。近接場光 (別名; エバネッセント光) を利用する。エバネッセント光は通常、屈折率の大きい媒質 (本研究では、被加工物) から小さい媒質 (本研究では、加工溶液) に光が入射する際、入射角が臨界角を超えると全反射が生じる。この全反射発生面において、自由空間伝搬をしない表面近傍 (表面からポリッシング液領域内の数百ナノメートル) のみに局在する光が生じる。Fig 2 に示すように、エバネッセント光は発生面垂直方向 (ポリッシング溶液) へは指数関数的に減衰するが、そこに微小散乱体 (本研究では、ポリッシング液中微粒子、場合によっては、ポリッシングパッドアスペリティも含める) が存在すると、伝搬光に変換されるため、その散乱体 (微粒子) の挙動が観察可能となる。すなわち、ナノ粒子が被加工界面領域に入るとき (加工に関わるナノ粒子) だけ、散乱光を発生させ、被加工面近傍のみの現象観察が可能になる。ナノ粒子が被加工面に接触する際、粒子からの光散乱強度が最大となることに注意する。Fig 3 は、観察する光学系を示す。

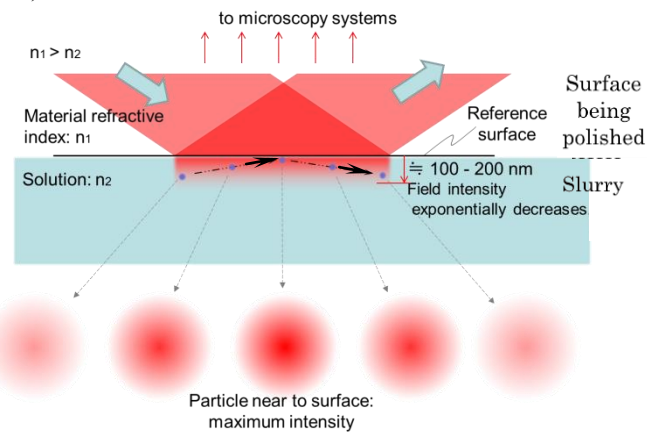


Fig 2 Scattering light from moving nanoparticles near to the surface being polished

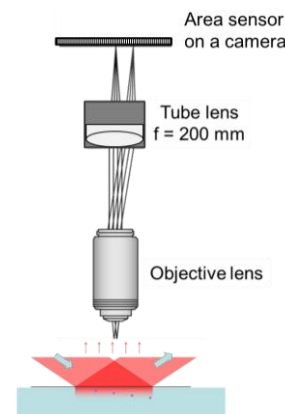


Fig 3 Optical system for visualizing moving nanoparticles in polishing

## (2) 装置構築

Fig 3 の光学系を構築し、Fig 4 に示すように、実機で搭載できるポリシング現象をエバネッセント光で観察する装置の設計・製作を行った。

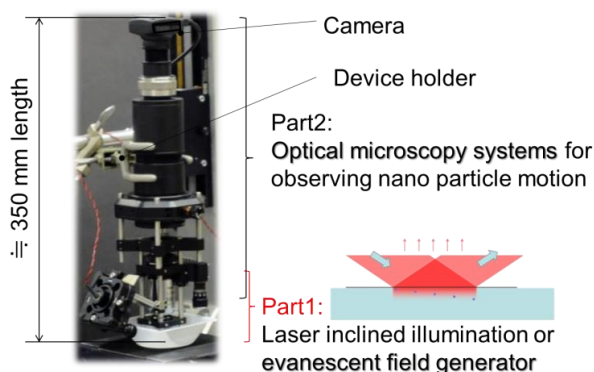


Fig 4 Developed apparatus

## (3) ポリシング機に設置

Fig 5 は、開発した装置をポリシング機に搭載した様子を示す。

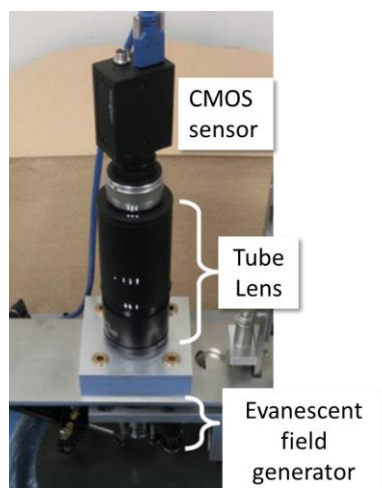


Fig 5 Developed apparatus on a polishing machine

## 4. 研究成果

### (1) 構築した装置の光学的性能

ライン&スペースパターンを観察した結果 (Fig 6), 光学顕微鏡系の解像度 (結像系としての解像限界又は横分解能) が約 400 nm (レイリー解像度では 200 nm) であった。これは、粒径 400 nm 以下のナノ粒子を観察できないということではなく、観察の際にナノ粒子同士が 400 nm 以上離れれば、明確に個々に識別できるということである。

### (2) 観察可能なナノ粒子の粒径

シリカ ( $\text{SiO}_2$ ) の被ポリシング面において、エバネッセント光を発生させ、ナノ粒子を観察した結果は、以下のとおりである。

・現状で最小 15nm のナノ粒子の挙動を動的 (100 frame/s) に観察可能であることを実証した。(Fig 7, 8, 9)

-Fig 7 は、ナノ粒子挙動観察実験に用いた粒子の電子顕微鏡 (SEM) 像である。

-Fig 8 は、1 秒間 (100 frame) に観察した 30 nm 粒子の追跡の一例である。

-Fig 9 は、粒径 15-50 nm の粒子からの散乱光強度 (縦軸) と開口時間 (横軸) との特性を示す。

・難加工材である単結晶 4H-SiC 基板においても、(結晶性による複屈折率の影響を受けたが,) 運動している粒径 50nm の  $\text{SiO}_2$  粒子の挙動が観察された。(Fig 10)

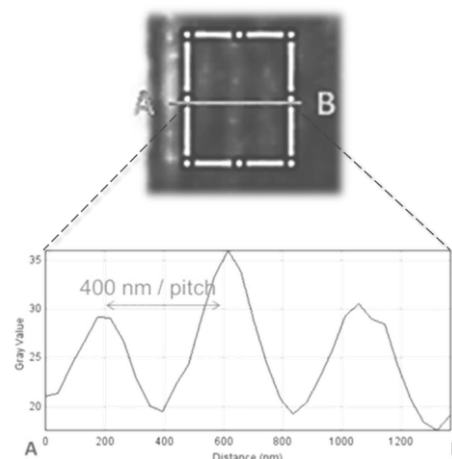


Fig 6 Line and space pattern observed image with the developed apparatus

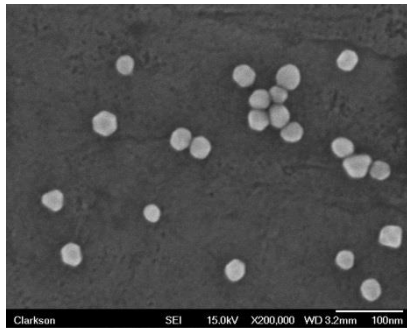
### (3) ポリシング加工現象観察

Fig 5 のようにポリシング機に開発した装置を設置し、ポリシング圧 10 kPa (1.5 psi), 被ポリシング面に対してポリシングパッド (IC1000) が毎分 25 回転 (すべり速度 50 mm/s) する条件下でポリシング現象を再現し、ナノ粒子 (化学反応を除外するため 100 nm のダイヤモンド粒子) の挙動を観察した結果より、以下のことがわかった。

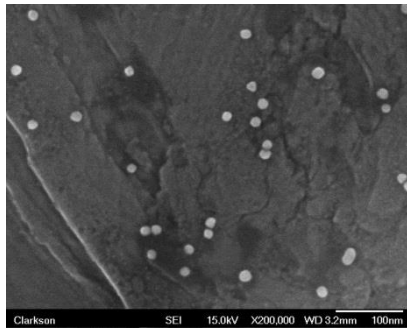
・ポリシングパッドの進行速度に対して、微粒子 (A-F) の速度が僅 22~48  $\mu\text{m/s}$  の 0.1% であり、その速度ベクトルもポリシングパッドの進行方向と同じとは限らない (Fig 11)。

・ポリシングパッドの溝が通過した際に微粒子が突如逆方向に移動したことから、ポリシングパッドの溝により発生した渦が被ポリシング面近傍のナノスケールにおいても渦 (Fig 12) が発生する可能性があること示唆された。

以上より、将来的に解像度や撮影フレームレートを上げるなどの課題はあるが、現時点では実機におけるポリシング現象を、手法の確立および基礎となる観察装置の開発により可視化することに成功した。



(a) 30 nm particles



(b) 15 nm particles

Fig 7 Scanning Electron Microscopy images of the particle to be observed

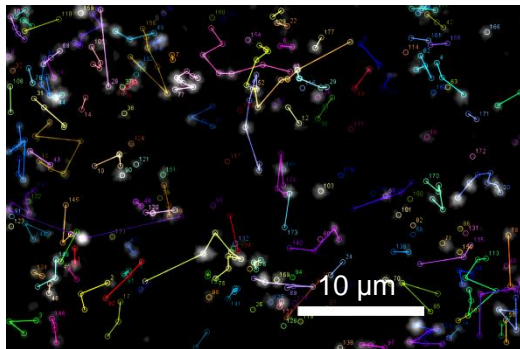


Fig 8 Tracking 30 nm particles in 1 s at 2 ms of exposure time in the evanescent field.

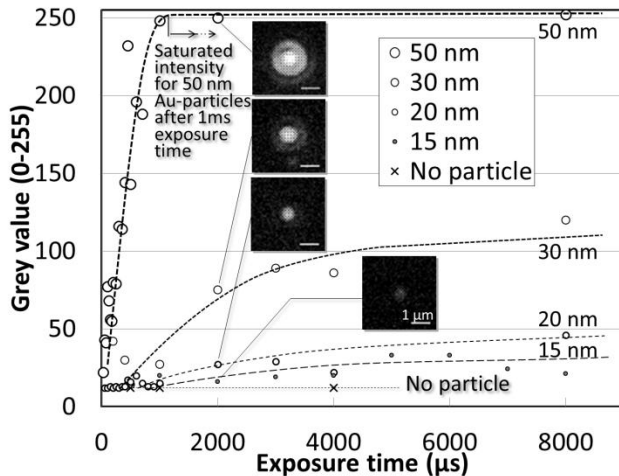
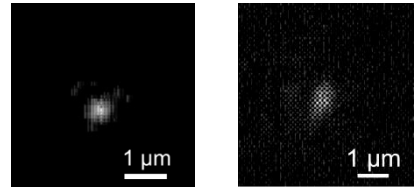


Fig 9 Maximum intensity values from 500 frames corresponding to exposure time.



(a) on silica surface (b) on 4H-SiC substrate

Fig 10 Scattering light with birefringence on 4H-SiC substrate from a 50 nm moving particle

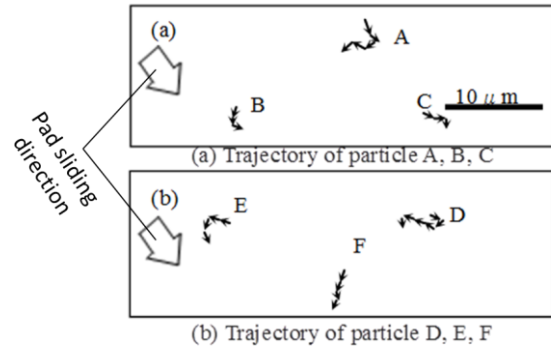


Fig 11 Trajectory of 6 particles on a SiO<sub>2</sub> surface in 0.25 s during polishing with IC1000 pad

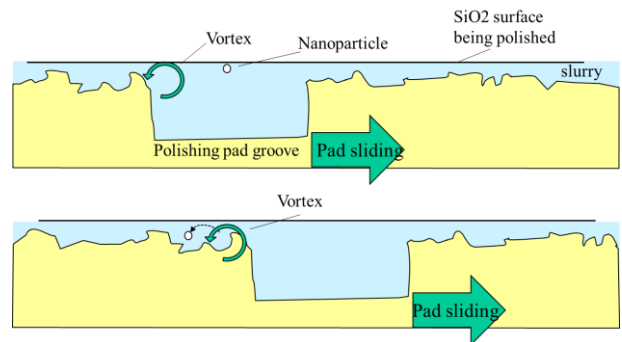


Fig 12 Schematic vortex occurring by a groove edge on polishing pad.

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- (1) Khajornrungruang, P.; Dean, P. J; Babu, S. V.: Study on Dynamic Observation of sub-50 nm Sized Particles in Water using Evanescent Field with a Compact and Mobile Apparatus, Proc. of Annual Meeting of the American Society for Precision Engineering, No. 29 (2014) pp. 73-77. ISBN: 978-1-887706-66-7 (査読有り)

[学会発表] (計 7 件)

- (1) カチヨーンルンルアン パナート, S. V. Babu, 木村景一, 鈴木恵友, ナノスケールにおける加工現象の可視化に関する研究, 2015年度精密工学会秋季大会学術講演会, 2015年9月, 東北大学, 宮城県
- (2) Panart Khajornrungruang, Angshuman Pal, Armin S. Vahdat, Christopher M. Netzband, Dan Goia, S. V. Babu, Imaging of Silver Nanoparticles and Ribbons by Evanescent Wave Scattering, Center for Advanced Materials Processing (CAMP) Annual Technical Meeting, 2015年5月21日, Canandaigua, New York, 米国
- (3) 今井祐太, 鈴木恵友, カチヨーンルンルアン パナート, エバネッセント光を用いたナノ微粒子観察によるポリシング加工の現象解析, 日本機械学会九州支部 第68期講演会, 2015年3月13日, 福岡大学, 福岡県
- (4) Panart Khajornrungruang, Patrick J. Dean, S. V. Babu, Study on Dynamic Observation of sub-50 nm Sized Particles in Water using Evanescent Field with a Compact and Mobile Apparatus, the 29<sup>th</sup> ASPE Annual Meeting, 2014年11月12日, Boston, MA, 米国
- (5) Panart Khajornrungruang, S. V. Babu, Nano-Sized Particle Identification using Evanescent Field, Center for Advanced Materials Processing's Fall Meeting, 2013年10月14日, Clarkson University, Potsdam, New York, 米国
- (6) Panart Khajornrungruang, Sevim Korkmas, S. V. Babu, Nano-sized Particles Detection and Analysis in Solution using Evanescent Field, 18<sup>th</sup> International Symposium on Chemical-Mechanical Planarization, 2013年8月12日, Lake Placid, NY, 米国
- (7) Panart Khajornrungruang, S. V. Babu, Keiichi Kimura, Observation Role of Fine Particles in Dielectric Material CMP applying Evanescent Field, Center for Advanced Materials Processing (CAMP) Annual Technical Meeting, 2013年5月16日, Saratoga Springs, New York, 米国

[その他]

ホームページ等

<http://www.aspe.net/publications/Short%20Abstracts%2014A/4102.pdf>

6. 研究組織

- (1) 研究代表者  
カチヨーンルンルアン パナート  
(Panart KHAJORNRUNGRUANG)  
九州工業大学・大学院情報工学研究院・助教  
研究者番号 : 60404092
- (2) 研究分担者  
該当無し
- (3) 連携研究者  
該当無し
- (4) 研究協力者  
木村景一 (Keiichi KIMURA)  
(当初) 九州工業大学・大学院情報工学研究院・教授  
研究者番号 : 80380723  
  
Suryadevara V. BABU  
クラークソン大学 (米国)・Dept. of Chemical & Biomolecular Engineering・Distinguished University Professor (荣誉教授)  
研究者番号 : -  
  
鈴木恵友 (Keisuke SUZUKI)  
九州工業大学・大学院情報工学研究院・准教授  
研究者番号 : 50585156