

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 4月30日現在

機関番号：11301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2011～2012

課題番号：23860005

研究課題名（和文）熱検知接触型センサによるウエハ表面欠陥の高感度検出技術に関する研究

研究課題名（英文）Development of the thermal contact sensor for inspection of defects on wafer surface

研究代表者

清水 裕樹 (SHIMIZU YUKI)

東北大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：70606384

研究成果の概要（和文）：

次世代ウエハ等のナノレベル平滑面に要求される微小欠陥検出実現を目的とし、軽微な接触で発生する極小摩擦熱を素子抵抗値変化に変換して微小突起を検出する、全く新しい欠陥検出コンセプトの確立に取り組んだ。有限要素モデル解析で提案コンセプト実現の可能性を見出すとともに、薄膜抵抗体からなるマイクロサイズの試作素子を用いた評価実験で、提案手法によるナノレベルサイズ微小欠陥検出実現の可能性を実験的に明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

A feasibility of newly-proposed concept for the detection of small defects on smoothly-finished surfaces has been investigated. An estimated temperature rise of the thermal element, which would detect small amount of frictional heat due to contact with a defect was analyzed based on FEM simulations. In addition, experiments were carried out with fabricated prototype of the thermal element to confirm the feasibility of the proposed concept.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2012年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,300,000	690,000	2,990,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：接触センサ、摩擦熱、デフェクト、ウエハ検査

## 1. 研究開始当初の背景

CPU や LSI に代表される半導体技術においては、主にパターンニングの微細化による高速化・高機能化が続いており、既に 32 nm 以下のプロセスの適用が視野に入りつつある。この間、ウエハ基板表面に存在する欠陥の許容サイズは益々小さくなる一方で、高さ 32 nm 以下の微小欠陥検出技術の開発が急務とな

っている。これは近年需要が拡大している LED 向けウエハ及び光学表面の検査についても同様である。現在、半導体・LED ウエハ基板表面及び光学表面の欠陥検出には、光学式手法、特に光散乱を用いた非接触検出方式が用いられている。この方式はレーザービーム走査による大径ウエハ測定への対応が可能だが、反射光強度が欠陥サイズの 6 乗で低下す

るため測定分解能が限界に達しつつあり、高さ 16 nm 以下の欠陥検出については実現の目途が立っていない。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、次世代の半導体・LED ウェハなどのナノ平滑面に要求される微小欠陥検出実現のため、軽微な接触によって発生する極小摩擦熱を熱検知素子抵抗値の変化に変換してウェハ表面上の微小突起を検出する熱検知型接触センサのコンセプトに基づいた、全く新しいウェハ上微小欠陥検出原理を提案することである。薄膜抵抗体で形成した熱検知素子を搭載した小型センサプローブを試作し、提案の原理で平滑面の微小欠陥が検出できることを実証する。

## 3. 研究の方法

本研究課題では、提案の熱検知型接触センサのコンセプト(図1)について、その実現可能性をモデル化したセンサ構造体の熱解析計算によって検討するとともに、マイクロサイズの熱検知素子を実現する試作プロセス構築を試みた。また、試作プロトタイプ素子を用いてその感度特性等を評価し、提案のコンセプト実現の可能性を実験的に検討した。具体的な方法は以下のとおりである。

- (1) 微小突起と熱検知素子の接触時に発生する摩擦熱量の見積もり：突起形状と素子形状を簡易モデルで表現し、相対速度、押し込み量、先端曲率半径などをパラメータとして摩擦発熱量を検討。
- (2) 微小熱による熱検知素子の時間温度変化の解析：有限要素モデル(FEM)を用いて熱検知センサ形状パラメータと温度変化との関係を検討。
- (3) 熱検知素子作成プロセス構築：熱検知素子をマイクロサイズで構成するための、フォトリソグラフィ工程を検討。
- (4) 試作プロトタイプ素子の特性評価：試作した熱検知素子を用い、与えた熱量に対する素子反応を定量的に評価し、提案のコンセプト実現可能性を検討。

## 4. 研究成果

(1) 微小突起および熱検知素子表面を、それぞれ半球体および平滑面として仮定した摩擦モデルをもとに、微小突起検出時に発生する摩擦熱量を見積もった。発生摩擦熱は、接触時の相対速度、突起と素子表面の干渉高さ、突起の先端曲率半径などのパラメータに依存するが、本コンセプトで主に検出対象とする数十 nm サイズの微小突起との接触においては、突起先端の曲率半径をサブ  $\mu\text{m}$  と仮定し、熱検知素子表面に対する突起先端の押し込み量を 1~10nm, 相対速度を 0.01~10m/s に設定した場合、推定される発生摩擦熱量は

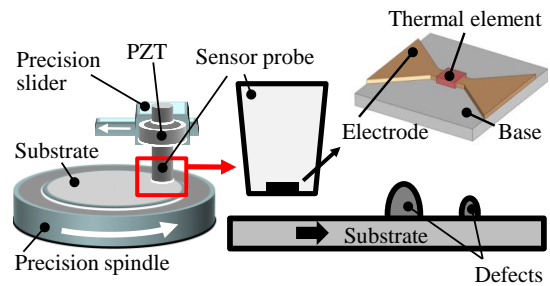


図1 熱検知型接触センサのコンセプト

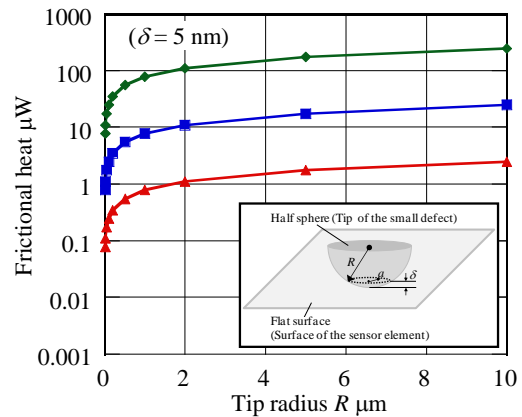


図2 熱検知素子と微小突起の接触により発生する摩擦熱量

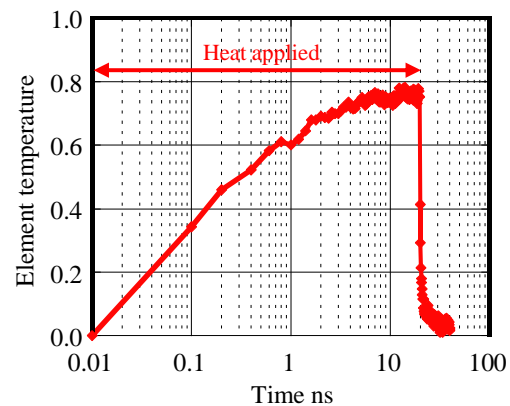


図3 FEMによる熱検知素子の温度上昇シミュレーション結果

概ねサブ  $\mu\text{W}$  ~ 数十  $\mu\text{W}$  のオーダーとなることを明らかにした(図2)。

(2) 上記摩擦モデルで推定される摩擦熱量を与えた場合の熱検知素子の温度変化を、有限要素モデル(FEM)を用いて数値解析シミュレーションした(図3)。熱検知素子の幅、厚さ、センサ表面からの設置位置等をパラメータとして、摩擦熱により加熱された素子の時間温度変化をシミュレーションした(図4)。パラメータサーベイの結果から、熱検知素子の感度は素子の幅寸法に対して特に感度が高

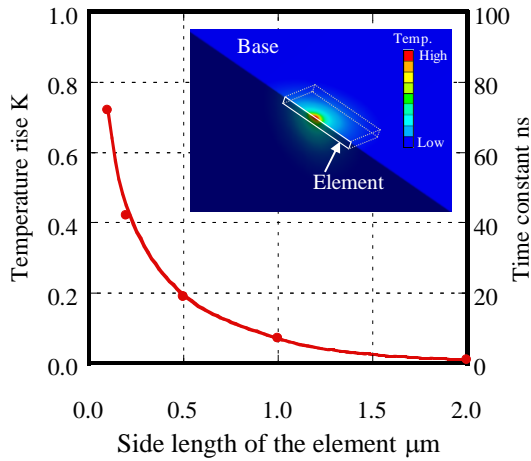


図4 FEMによる熱検知素子の温度上昇シミュレーション結果

いことを明らかにするとともに、素子サイズを $\mu\text{m}$ オーダーに設定することで、微小突起との接触により発生する $\mu\text{W}$ オーダーの微小摩擦熱が充分検知可能である見通しを得た。

(3) 熱検知素子を $\mu\text{m}$ オーダーサイズの薄膜抵抗体として構成するために、素子試作向けのフォトリソグラフィプロセスを検討した。今回は、試作性および試作素子プロトタイプでの摩擦評価実験等も踏まえ、熱検知素子にはクロム(Cr)を用い、その両端に金(Au)とCrの2層薄膜からなる電極を配置した構造とし、厚さ100nm、有効素子サイズ $10\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ の素子プロトタイプを作成した(図5)。有効素子部分が最上表面から電極層の厚さ(30nm)だけ窪んだ形状となったが、素子下面に電極と同構成のダミー層を配置し、かつ加熱突出用ヒータ(同プロセスで試作検討済)を素子下層に配置すれば、素子を最表面とできると考えており、今後試作検討する予定である。

(4) 試作した素子プロトタイプの熱検知感度を定量的に見積もるため、出力制御レーザー集光光学系を構築し、与えた微小熱量と熱検知素子出力との関係を定量的に評価した(図6(a))。実験結果から、有効素子サイズ $10\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ の熱検知素子においても数十mWオーダーの熱量が検知可能であり(図6(b))、素子サイズを $\mu\text{m}$ オーダーに設定することで、必要とされるサブ $\mu\text{W}$ ~数十mWオーダーの微小熱量が検知可能である見通しを得た。

(5) 実際に摩擦した場合の素子出力特性を評価するため、径 $50\mu\text{m}$ 以下の精密ガラス球を先端に取り付けたプローブによる摩擦試験機構を構築し(図7(a))、素子表面を摩擦した際の素子出力を確認した。本評価装置では、熱検知素子表面へのプローブ押し込み量をナノメートルオーダーで調整可能で、かつプローブの振動周波数制御で相対摩擦速度が調

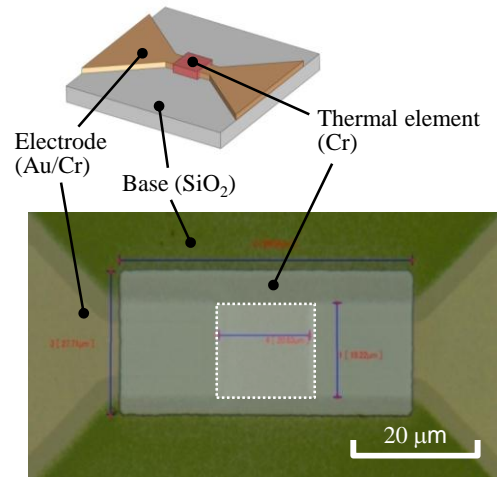
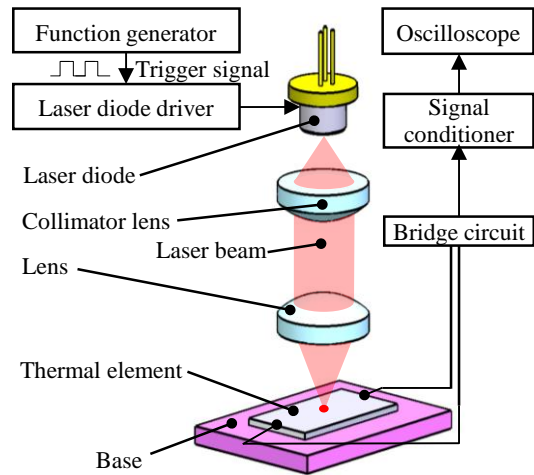
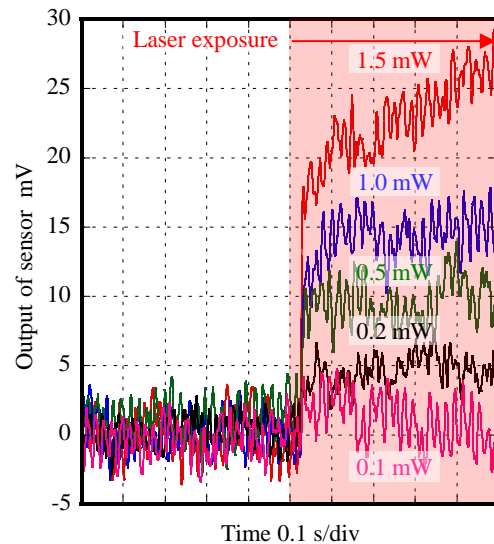


図5 試作した熱検知素子プロトタイプ

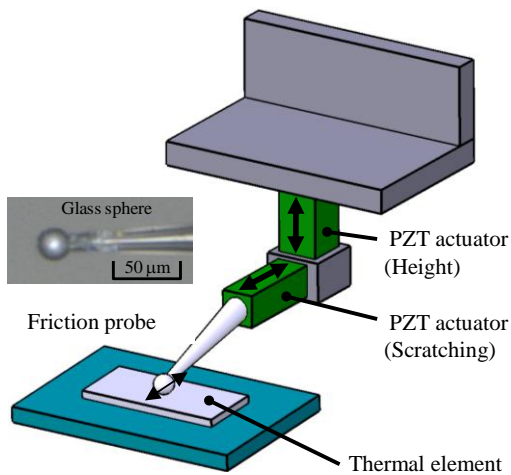


(a) 集光レーザー光学系による評価装置

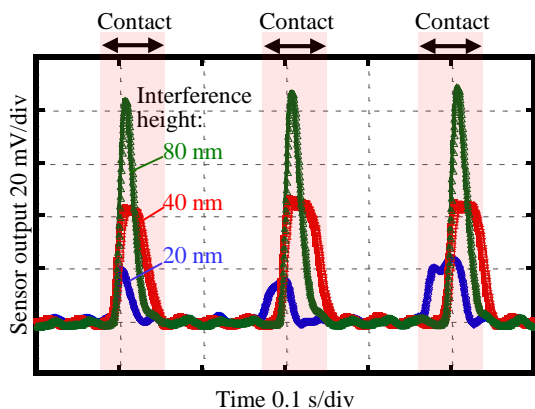


(b) 加熱時のセンサ出力反応

図6 集光レーザー光学系による熱検知素子プロトタイプ感度の定量的評価



(a) 熱検知素子評価用摩擦試験装置



(b) 摩擦時の素子出力波形

図7 マイクロガラス球プローブによる熱検知素子摩擦実験

整可能である。実験結果(図7(b))より、開発の素子は押し込み量数 nm での接触を検知可能であり、その出力は押し込み量の増加とともに増大することを明らかにした。温度抵抗係数の高い材質の適用、及び熱検知素子を先端に配置した測定子による回転スピンドル上での実証実験が今後の検討課題である。

##### 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2件)

①Wenjian Lu, Yuki Shimizu, Wei Gao, New Measurement Concept of Nanometer-Level Defects on Si Wafer Surface by Using Micro Contact Sensor, Advanced Material Research, 査読有, Vol. 497, 2012年, 137-141, DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.497.137

② Wenjian Lu, Yuki Shimizu, Wei Gao, Design and Experiment of Thermal Contact Sensor Detecting Defects on Si Wafer

Surface, Key Engineering Materials, 査読有, Vols. 523-524, 2012年, 826-831, DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.523-524.826

[学会発表] (計8件)

①Wenjian Lu, Yuki Shimizu, So Ito, Wei Gao, Design and experiment of thermal contact sensor detecting defects on Si wafer surface, The 14th International Conference on Precision Engineering (ICPE2012), 2012年11月8日, Awaji-shi (Hyogo)

②盧文劍, 清水裕樹, 大場裕太, 高偉, 接触型熱検知センサによる平滑面欠陥検出の実験的原理検討, 日本機械学会 第9回生産加工・工作機械部門講演会, 2012年10月27日, 秋田

③Yuki Shimizu, Wenjian Lu, Wei Gao, Design of a Micro-sized Thermal Contact Sensor for Inspection of Surface Defects, The 3rd International Conference on Nanomanufacturing (nanoMan2012), 2012年7月26日, Wako-shi (Saitama)

④清水裕樹, 盧文劍, 東豊大, 高偉, ウエハ表面のナノレベル欠陥検出向け接触型マイクロ熱検知センサの原理検討, 精密工学会 2012年度春季大会, 2012年3月14日, 東京

[産業財産権]

○出願状況 (計2件)

名称: ステージ機構およびその駆動方法

発明者: 清水裕樹, 高偉, 盧文劍

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特願2011-256202

出願年月日: 23年11月24日

国内外の別: 国内

名称: 平滑面検査装置

発明者: 清水裕樹, 高偉, 盧文劍

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特願2012-097818

出願年月日: 24年4月23日

国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等

<http://www.nano.mech.tohoku.ac.jp>

##### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

清水 裕樹 (SHIMIZU YUKI)

東北大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：70606384

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：