

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 29 日現在

機関番号：12301

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K20955

研究課題名(和文) ナノオーダーの計測レンジを持ち物質同定をも可能とする半導体表面の異物検出デバイス

研究課題名(英文) A device for identifying nanometer-order foreign objects and its materials on silicon wafers

研究代表者

荒木 幹也 (Araki, Mikiya)

群馬大学・大学院理工学府・教授

研究者番号：70344926

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：半導体の回路パターン高集積化は極限まで進み、その配線幅は10 nmオーダーまで超微細化している。ウエハ上に「10 nmの異物」があれば、それはそのまま「不良品」を意味する。異物の「材料」が特定できれば付着が起こった工程の特定につながり、生産効率の飛躍的向上につながる。本研究では「非接触」で異物の「サイズ」と「物質(材料)」を「同時決定」する手法の確立を目標とする。ウエハ洗浄液を模した純水中に、典型的な研磨粒子である「二酸化ケイ素」と、装置由来のプラスチック粒子を模した「ポリスチレン」を懸濁し、粒径と材料の判別を試みた。複数波長の偏光を用いた計測手法により、当初の目的が実現できることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本の半導体産業はピーク時と比較して大きくシェアを失っている。それでも半導体製造機械や素材については、世界でおおきなプレゼンスを維持している。これはすべて先人のみなさまの努力の賜物である。日本の国力を維持するうえでも重要な意味を持つこのような戦略的分野について、本研究課題の成果が少しでも役に立つことがあればと考えている。

研究成果の概要(英文)：The circuit pattern density of semiconductors has advanced to the limit, and the wiring width has been reduced to the order of 10 nm. If there is a "10 nm particle" on the wafer, it means a "defective product". If the "material" of the foreign matter can be identified, it will lead to the identification of the process in which the adhesion occurred, leading to a dramatic improvement in production efficiency. In this research, we aim to establish a method to "simultaneously determine" the "size" and "substance (material)" of a foreign object in a "non-contact" manner. In pure water simulating wafer cleaning liquid, we suspended "silicon dioxide", which is a typical abrasive particle, and "polystyrene", which simulates plastic particles derived from equipment, and attempted to determine the particle size and material. It was shown that the original purpose can be achieved by the measurement method using polarized light of multiple wavelengths.

研究分野：航空宇宙工学

キーワード：ナノ粒子 粒子径 材料同定 偏光 非接触

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

半導体の回路パターン高集積化は極限まで進み、現在その配線幅は 10 nm オーダまで超微細化している。ウエハ上に「10 nm の異物」があれば、それはそのまま「不良品」を意味する。一方でナノサイズの物質同定は困難を極め、「いつ」「何が」付着したのかが分からない。異物の「材料」が特定できれば付着が起こった工程の特定につながり、生産効率の飛躍的向上につながる。本研究では、半導体製造プロセスにおいて、「非接触」で異物の「サイズ」と「物質(材料)」を「同時決定」する手法の確立を目論む。

2. 研究の目的

半導体製造におけるウエハ洗浄液に着目する。各プロセスの前後に洗浄があり、洗浄後の液中に残留した微粒子を特定できれば、当初の目的を達成することとなる。そこで、洗浄液に見立てた超純水を石英セルに封入し、異物に見立てた粒子を懸濁することで、計測可能性について検討を行う。異物として、典型的な研磨粒子である「二酸化ケイ素」と、装置由来のプラスチック粒子を模した「ポリスチレン」を用いた。それぞれ粒径と粒子数密度を変化させたセルを調製し、計測限界についても検討を行った。さらに「二酸化ケイ素」と「ポリスチレン」を混合した資料も調整した。複数の異物から特定の成分を弁別する能力についても検討を行っている。

3. 研究の方法

図1に光学系概略を示す。「異物を含むウエハ洗浄液」を模した石英セルを設置し、ランダム偏光を入射する。異物があれば、散乱光が放射される。これを散乱角度 θ に設置した計測部で取得する。散乱光に含まれる縦横の偏光成分の強度比 (i_2 / i_1) は「偏光比」と呼ばれ、「ミーの散乱理論」に基づいて「粒径」「屈折率」「散乱角度」の関数で与えられる。異物からの散乱光の偏光比を実験的に計測し、その値をミーの理論解と比較することで、これらを決定できることになる。もし屈折率(つまり異物の材料)が既知であれば、そのまま粒径が求められる。ここで問題が生じる。異物の材料は、多くの場合不明であることである。このため屈折率を決められず、粒径も決められないという事態を生じることとなる。

例えば、典型的な研磨粒子である「二酸化ケイ素」と、装置由来のプラスチック粒子が含まれるとする。この場合、材料も粒径も特定できなくなる。そこで、「もう1つの波長」を用いる。波長が変わると理論解は横軸方向にシフトし、偏光比の実験値も変化する。新たに複数の交点が見られる。ただし計測対象は「同一粒子」のはずである。多数の交点の中でひとつだけ、両波長の解が一致する。こうして異物の材料と粒径が一意に決まり、「非接触」「ナノオーダ」「材料同定」を同時に実現する。

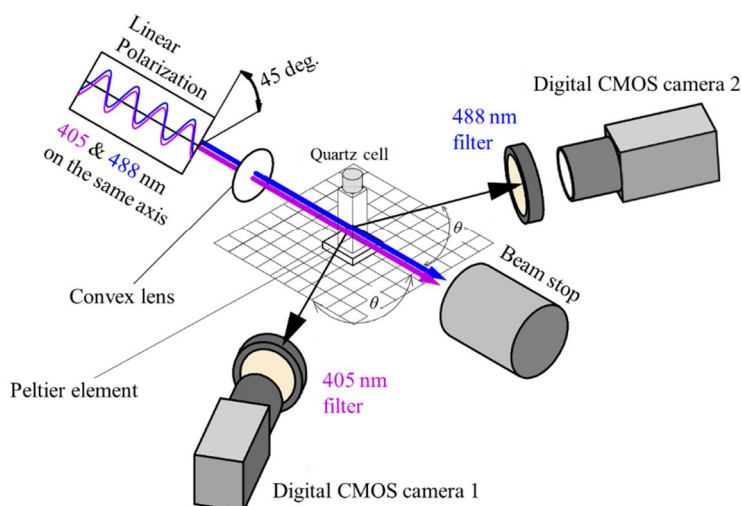


図1 光学系概略

4. 研究成果

図2に屈折率の計測結果を示す。横軸は屈折率を表し、これを様々に変化しながら計測結果と理論値を比較していき、縦軸でしめす残差が最も小さくなる点をもとめていく。最小の残差を与える点が計測結果となる。二酸化ケイ素の屈折率は1.095である（ただし水中の値）。これに対し本手法での計測結果は1.07となる。ポリスチレンの屈折率は1.2である（ただし水中の値）。これに対し本手法での計測結果は1.17となる。両者の屈折率は本手法で識別できること、つまり材料の弁別が可能であることが示された。

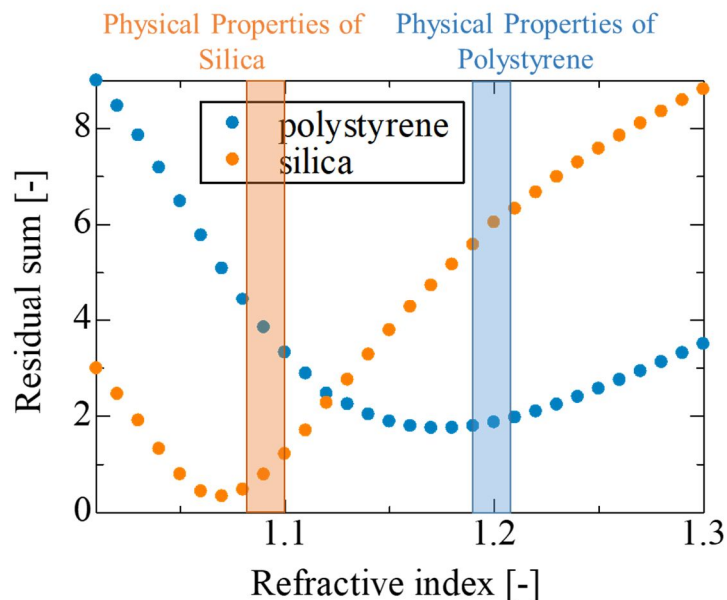


図2 屈折率計測の結果

図3に粒径の計測結果を示す。横軸は2種の粒子の混合割合を、縦軸は粒径を示す。TEMの計測結果を破線で、本手法の計測結果をプロットで示す。両者の誤差は30%程度であり、ナノ粒子計測意としてはまずまずの精度であると言える。

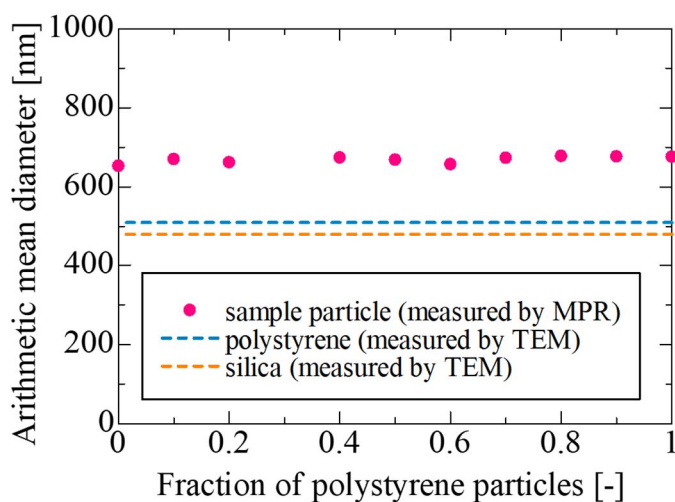


図3 粒径計測の結果

粒径と屈折率の同時計測が可能となったことで、本研究課題のような半導体製造の分野だけでなく、海洋中のマイクロプラスチックと砂礫粒子の弁別など様々な分野への応用も期待される。今後も引き続き計測法の改善を進めていく所存である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 木越 綾香（群馬大），大津 晴登，齋藤 遼太，ゴンザレス ファン，荒木 幹也
2. 発表標題 散乱光強度を用いたサブミクロン粒子の粒径と屈折率の同時測定
3. 学会等名 第31回微粒化シンポジウム（日本液体微粒化学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 星野 駿（群馬大），池田 知貴，ゴンザレス ファン，荒木 幹也
2. 発表標題 多波長偏光を用いたサブミクロン粒子計測における課題
3. 学会等名 第29回微粒化シンポジウム（日本液体微粒化学会）
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
研究分担者	GONZALEZ・P JUAN (Gonzalez Juan) (30720362)	群馬大学・大学院理工学府・助教 (12301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------