

自律的欠陥探索・分裂型マルチプローブによるナノ異物検出に関する研究（第11報）

—空間光位相変調による液相プローブ高感度検出—

東京大学 ○管 一兆, 増井周造, 門屋 祥太郎, 道畑 正岐, 高橋 哲

1. 緒言

近年半導体産業において、10 nm 以下の微細なライン&スペース構造を持つデバイスの製造が進められており、ベア Si ウェハ上に存在する1~10nmの微小異物が製造歩留まりに大きな影響を与えるようになってきている^[1]。そのため、基板上ナノ異物を高感度検出・評価可能な手法の開発が求められている。

従来、製造プロセス中への応用可能性を備えた光学的な異物検出法が有効な手法として適用されることが多かった。特に散乱光量検出法はシンプルな計測原理に加えて非破壊性、高速性に優れた手法として活用されてきた^[2]。しかし、粒径減少に伴って散乱光量が著しく減少するため、基板表面上マイクロラフネスが生じる微弱な散乱光と異物から生じた散乱光とを弁別できなくなる粒径20 nm 程度の粒径サイズが検出限界となっていた。そのため、基板上のナノスケールの微小異物検出のためには、新しい計測原理に基づいた超高感度ナノ異物計測法の確立が強く求められており、様々なアプローチで研究開発が進められている^[3]。

本研究では、不活性液相の揮発過程が、あたかも自律的なナノ欠陥探索プローブとして振る舞うことに着目した新しいナノ異物検出法を目指している。本報では、液相薄膜に対する高感度光学応答を実現する位相差顕微鏡法の適用にあたり、空間光位相変調素子による動的位相差に基づいた新しい高感度化法を提案し、レジスト薄膜を擬似液相薄膜と見做した基礎検出実験を行う。

2. 提案手法の概要

本研究では揮発性不活性液体を基板上異物探索プローブとして用い、異物との相互作用を光学的に観察することによって異物を検出するという新しい原理に基づいたナノ異物光学検出法を提案している。本提案手法によって目標とする粒径10 nm以下の異物を検出するにあたり、同程度の膜厚を有する液相薄膜に対する光学応答を高感度にする必要があるため、高感度な液相挙動検出法として本研究では位相差顕微鏡法（PCM, Phase Contrast Microscopy）による観察を検討してきた^[4]。前報では通常のPCMで一般に用いられるような位相変調板の代わりに、空間光位相変調素子 LCOS-SLM を用いて動的空間光位相変調を実現する光学系^[5]を設計・構築した（図1）。試料面に対するフーリエ変換面を LCOS-SLM 面までリレーして取得し、この面で位相変調を行うことで位相差顕微鏡法の高感度化を狙う。

3. 空間光位相変調素子を用いた位相差顕微鏡法の高感度化

位相差顕微鏡は直接光を位相変調させることで、直接光と回折光成分を干渉させる。それによって、ナノ異物の存在により、液膜形状に微妙な変動が生じると、位相差顕微鏡法の原理により、光学的強度変調として検出ことが期待される（図2）。この際、通常の $\pi/2$ の位相差に加えて、 $3\pi/2$ の位相差印加像も用いることで感

をさらに2倍にできると期待できる。

4. レジストによる静的な擬似液相薄膜の作成

提案手法の基本的な有効性を検討するための第一段階として、動的に揮発する液相ではなく、静的な擬似液相薄膜（レジスト）を用いた基礎実験を行なった。本実験では、SU-8 と PGMEA を1対7の割合で希釈したレジスト液を用いて、3000 rpm でスピナーコートを行なった。レジストの顕微鏡観察像（白色照明の落射顕微鏡画像（図3(b)））において、先行研究で観測された液膜に似ている薄膜干渉による青いと赤い色が見られる（図3(a)）。基盤の中心向き（図3(b)の左側）に置いて、約100 nmの薄膜によって薄青い反射が見られる。また、レジストは疎水性であるため、基盤のエッジ部分に多層的な構造が見られ、数 μm の厚い液膜（図3(b)の右側）がある。レジスト上では、異物、薄膜厚み変化などの現象が観測できる。

5. 結言・展望

本報では、静的薄膜のサンプルを試作した。動的空間光位相変調できる光学系において感度向上の実験は試作したサンプルで行う。今後は動的位相変調によって試料面観察像の光学応答高感度化の実験的実証を目指す。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 21K18668 と精密測定技術振興財団の支援を受けたことを記して御礼申し上げます。

参考文献

- [1] International Roadmap for Devices and Systems, IRDS2021 edition
- [2] K.Takami: "Defect inspection of wafers by laser scattering," *Mater.Sci.Eng.B* 44(1997)181-7
- [3] 清水裕樹, 松野優紀, 大場裕太, 高俣: "微空間での熱収支を利用した平滑面欠陥検出に関する研究-非接触欠陥検出の原理検討-", 2016年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, 7-8
- [4] 橋一輝, 道畑正岐, 高増潔, 高橋哲: "自律的欠陥探索・分裂型マルチプローブによるナノ異物検出に関する研究（第7報）-空間位相変調素子を用いた高感度検出装置の構築と検出特性の検証-", 2018年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, 600-601
- [5] 小田桐央祐, 門屋祥太郎, 道畑正岐, 高増潔, 高橋哲: "自律的欠陥探索・分裂型マルチプローブによるナノ異物検出に関する研究（第10報）-動的空間光位相変調による液相プローブ高感度検出光学系-", 2021年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, 605-605

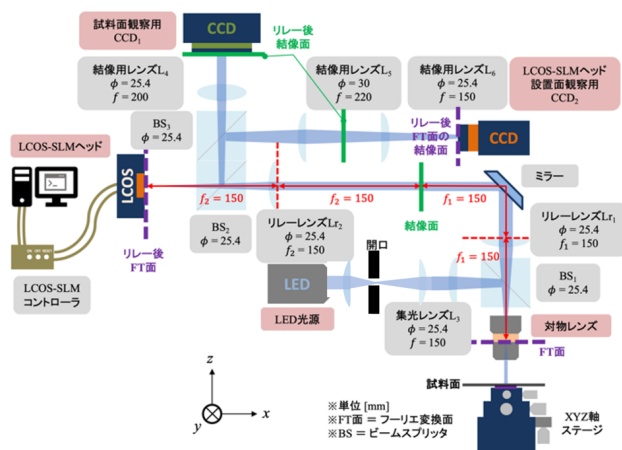


図1 空間光位相変調素子LCOS-SLMを用いて動的空間光位相変調を行う位相差顕微鏡光学系

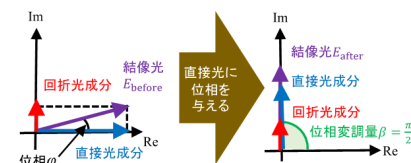


図2 直接光に $\pi/2$ の位相差を与えたことで、位相差顕微鏡の結像光には液膜の回折光と直接光成分が重なり、強度が向上する。

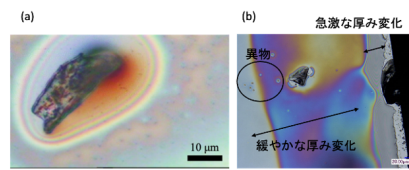


図3 (a) フロリナートの液体が揮発する時の液膜 (b) 今回作成したレジスト