

産学連携によりオンライン膜厚制御システムを組み込んだ マイクロマシン用静電塗布装置の共同開発に成功

概要

国立大学法人 埼玉大学（学長：山口宏樹）大学院理工学研究科 物理機能系専攻 福田武司助教は、多くの電子デバイスの製造工程に用いられているレジスト膜の塗布速度の高速化・膜厚の均一性に対応するため、光学式で膜厚を大面積一括に高速する測定技術を確認し、これらを組み込んだ静電塗布装置およびリアルタイム制御システムを開発しました。また、本開発は NEDO のイノベーション実用化ベンチャー支援事業の支援を受けて、株式会社アイテオー（東京都板橋区中丸町 51-10 8-A 号 代表取締役社長 豊田はる奈）と共同で実施しました。

本塗布装置では、高スループットが要求される塗布プロセスに適用可能な高速リアルタイム膜厚測定技術と、その膜厚情報を静電塗布装置にフィードバックすることで膜厚の面内均一性を向上させることが可能である。また、要素技術として、『高輝度平行ライン光源』、『膜厚測定カメラ』、ならびに『これらを制御するシステム』を確認して、数十マイクロメートルオーダーのレジスト膜をライン状（40mm 幅）に一括して評価可能な装置を開発した。さらに、測定した膜厚情報をリアルタイムでフィードバックして成膜速度を制御可能な静電塗布装置を実現した。

本研究の成果は 2014 年 9 月 11～12 日に実施するイノベーションジャパン 2014 で展示予定である。

1 研究の背景

塗布法は高スループット・大面積への塗布が可能であるために、低コストの成膜技術として期待されている。塗布法には、スクリーン印刷やグラビア印刷、インクジェット法など多様な技術があるが、今回利用した静電塗布法は、『高粘度・低希釈濃度の材料の塗布が可能』、『塗布材料の無駄がなく低コスト』、『立体構造への平滑塗布が可能』、『数 10 μm 以上の厚膜化が可能』など他の塗布技術にはない特徴を有している。そのため、既存塗布法では今まで実現できなかった材料まで適用範囲を拡大できる。その一つの例として、マイクロマシンの製造過程に用いられるレジスト厚膜の高精度成膜が可能な静電塗布装置の開発が求められていた。また、これ以外の用途でも形成する薄膜にはピンホールがなく、膜厚均一性に優れていることが要求されている。

膜厚測定は、一般的には触針式と光学式の両方の方法が用いられているが、前者は膜を傷つけるので、塗布装置に組み込む膜厚測定装置には光学式の手法を適用する必要がある。しかし、塗布法のように高速成膜技術に追従可能な高速な光学式膜厚測定装置の実現は困難であった。

2 研究内容と成果

前述の課題を解決するために、下記の①～③の要素技術の開発を行い、膜厚均一性の優れた塗布が可能な高度化した静電塗布装置を開発した。

- ① 静電塗布法などの塗布プロセスに適用可能な高速かつ幅広領域の一括膜厚測定が可能な高輝度平行ライン光源の実現
- ② 40mm 幅を一括で測定可能な 2 次元分光器を用いた膜厚測定カメラ

③塗布プロセス中にリアルタイムで膜厚を測定し、その情報を塗布条件にフィードバックできるオンライン膜厚制御システム

個別の項目については下記にそれぞれ記載する。

① 静電塗布法などの塗布プロセスに適用可能な高速かつ幅広領域の一括膜厚測定が可能な高輝度平行ライン光源の実現

市販のコリメータレンズでも平行照明を実現できるが、照明スポットが円型であるため光量ロスにつながる。また、広い面積の膜厚を一括で測定するためには、広範囲かつ高強度の平行照明を実現する必要がある。そこで、照明光学系の改良を行い、図 1 に示す平行ライン照明を実現した。この照射領域のサイズは 50 mm(長さ) × 10 mm(幅)であり、長い軸に沿って均一な光強度を示した(図 2)。

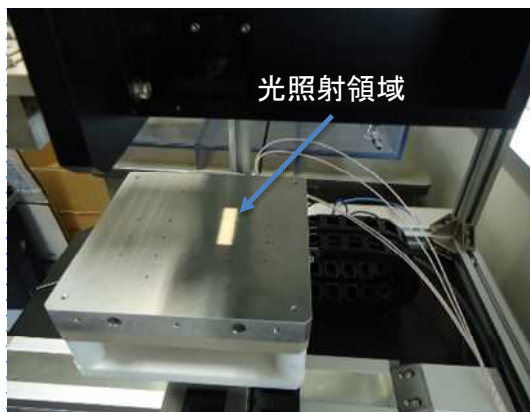


図 1 高輝度平行ライン光源

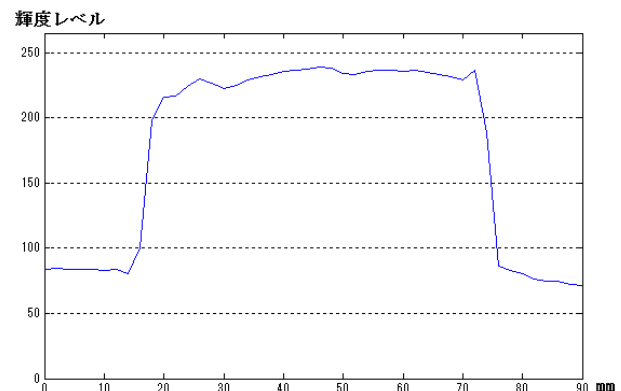


図 2 長軸方向の光強度分布

② 40mm 幅を一括で測定可能な 2 次元分光器を用いた膜厚測定カメラ

前述の高輝度平行ライン光源と 2 次元(位置 × 波長)分光器を用いた膜厚測定カメラを開発した。膜厚測定には薄膜に高輝度平行ライン光源を照射したときの反射スペクトルを解析する必要があり、薄膜内部での多重反射によって膜厚と波長に依存した反射光強度を示す。通常的手法では測定点一か所毎で膜厚計算を行うので、計算手法(高速フーリエ変換法)では膨大な時間が必要となり、塗布プロセスに追従することは困難である。本手法では 40mm 幅の領域を一括で膜厚計算をする方式を採用した。そこで、株式会社アイテオーで独自開発したアルゴリズム(計算時間の短いリファレンスフリーの手法)を用いることで、高速データ処理が可能とした。

③ 塗布プロセス中にリアルタイムで膜厚を測定し、その情報を塗布条件にフィードバックできるオンライン膜厚制御システム

前述の静電塗布法は、数 kV という高電圧を溶液に加えてイオン化した溶液をスプレー状に噴射して薄膜を形成する方法である。一般的にマイクロマシン用に使用される 4 インチや 6 インチの Si 基板全面に渡って面積が大きい基板で塗布膜の平坦度を均一にするためには、成膜過程でのレジスト塗布量の制御が必要である。静電塗布法でのレジスト溶液の供給はシリンジポンプを用いており、シリンジポンプの駆動速度で供給されるレジスト量を調整できる。そこで、膜厚測定カメラから得られた測定結果をフィードバックし、ステージ駆動速度をコンピュータ制御することにより、多種パラメーター設定機能を有する制御ソフトウェアを開発した。

試作した静電塗布装置を図 3 に示す。本装置ではレジスト膜厚が薄い領域ではシリンジポンプの供給速度を速くすることにより厚膜化できる機能を開発した。図 4 に塗布量を制御しない場合のレジスト塗布膜の外観写真

を示す。リアルタイムに測定された膜厚に基づいて塗布量を制御した場合、均一なレジスト膜を成膜することができることを確認した(図5)。また、4インチのシリコン基板に塗布したレジスト膜(図6、膜厚:約20 μm)では+5.2% / -5.6%の膜厚分布を得た。

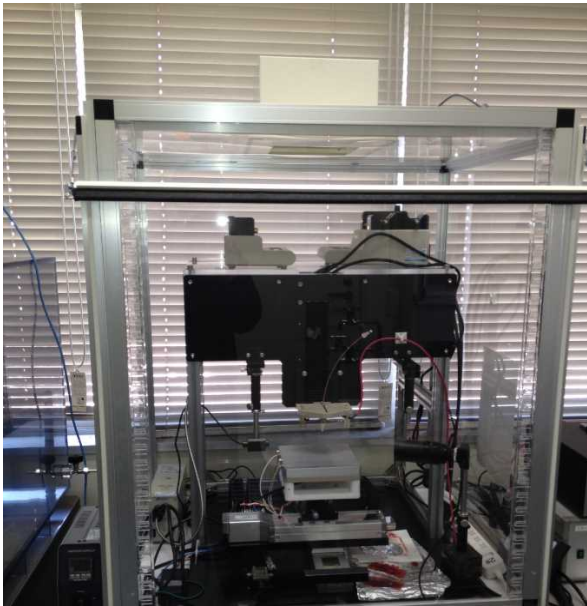


図3 開発した静電塗布装置の外観図

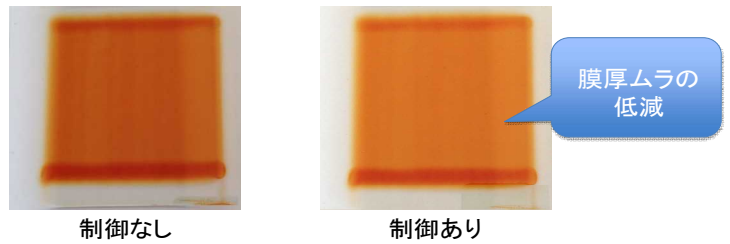
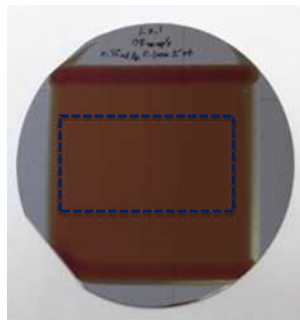


図4 制御の有無でそれぞれ成膜したレジスト膜



4インチ基板に塗布したサンプル
(青い点線で測定エリアを示す)

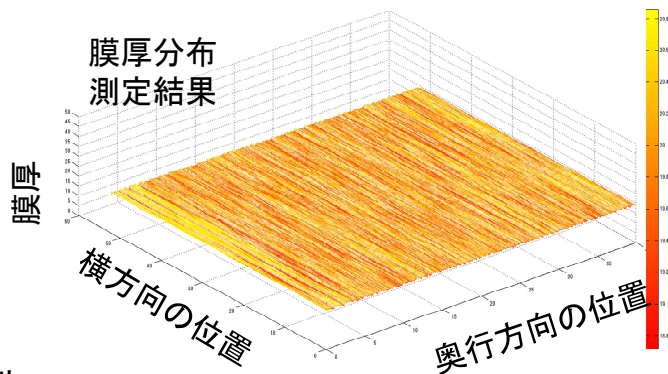


図5 4インチシリコン基板上に成膜したレジスト膜の膜厚測定結果

3 今後の期待

今回開発した膜厚測定器は従来技術では実現が困難であった塗布プロセス中にリアルタイム測定できるレベルの高速化を実現した。そのため、多くの塗布技術に展開可能である。また、静電塗布法は従来手法では成膜出来なかった材料への展開が可能であり、この二つを組み合わせることで新しい分野を開拓できる。

4 原論文情報

2014年9月11日から12日に実施するイノベーションジャパン2014で展示予定

5 用語解説

静電塗布装置: 数 kV の高圧を印加して薄膜を塗布する装置。本装置ではレジスト材料のように高粘度材料の塗布が可能であり、またマイクロマシンの製造に用いられる数 10 μm 程度の厚膜の成膜が可能である。

光学式膜厚計: 光の干渉を利用した膜厚測定装置。ここでは白色光に含まれている各波長成分に応じて得られる異なる干渉波形から膜厚を高精度に求めることが可能である。

問い合わせ先

埼玉大学 工学部 機能材料工学科

担当教員 福田 武司

TEL 048-858-3526

e-mail fukuda@fms.saitama-u.ac.jp

〒338-8570 さいたま市桜区下大久保255 埼玉大学

本件発信元: 総務部総務課広報担当(岡田・伊藤)

TEL :048-858-3932・3927 FAX:048-858-9057 e-mail:koho@gr.saitama-u.ac.jp