

## 垂直観測型エリプソメトリー顕微鏡によるナノインプリントリソグラフィー用 UV レジストのナノしゅう動すきまでのせん断力増加機構の解明

Clarification of Mechanism of Shear-Force Increase in Nano-sliding gaps of UV Resist for  
Nanoimprint Lithography by Vertical-objective-type Ellipsometry Microscopy

名大・工（学）\*牧平 樹生 名大（情）Song Yuxi 名大・工 加藤 剛史 福澤 健二  
伊藤 伸太郎 東 直輝 名大（情）張 賀東, 東北大（工）中川勝, キヤノン株式会社 繩田 亮  
Tatsuki Makhira\*, Yuxi Song\*, Tsuyoshi Kato\*, Kenji Fukuzawa\*  
Shintaro Itoh\*, Naoki Azuma\*, Hedong Zhang\*, Masaru Nakagawa\*\*, Ryo Nawata\*\*\*  
\*Nagoya University, \*\*Tohoku University, \*\*\*Canon Inc.

### 1. はじめに

ナノインプリントリソグラフィー (NIL) は、表面ナノ構造が形成されたモールド (型) を用いて紫外線硬化樹脂をパターニングすることで、極端紫外光 (EUV) リソグラフィーに比べ、工程の大幅な削減、消費電力を約 1/10 にできるなど、次世代の半導体素子量産技術として期待されている。NIL では、シリコン基板とガラスマールドの位置合わせの際、基板とモールド間のすきまに紫外線硬化性液体を閉じ込めた状態で、基板とモールドを面内で相対変位させる必要がある。すきまが数十 nm 以下になると、紫外線硬化性液体の発生する粘性抵抗力が急激に増大し、さらなる微細化のための課題となっている<sup>1)</sup>。しかし、極微小すきまでの現象のため測定が困難で、粘性抵抗力増大の原因は解明されていなかった。そして、粘性抵抗力増大はすきまの大きさに強く依存するため、その原因解明には、ナノしゅう動すきまを精確に制御した粘性力測定が必須である。

### 2. 垂直観測型エリプソメトリー顕微鏡を用いたナノすきま制御型せん断力測定

我々は、垂直観測型エリプソメトリー顕微鏡 (VEM) と呼ばれる新たな顕微鏡を開発した<sup>2), 3)</sup>。VEM では、エリプソメトリーに基づいてしゅう動すきまを測定するため、しゅう動面の材質に制限されることなく 0.1 nm オーダーのすきま分解能が得られる。また、対物レンズの光軸が試料面内と垂直になる垂直観察系を用いることで 0.1 μm オーダーの高い面内分解能を実現している。これと同時に、照明光を対物レンズの後側焦点面の光軸とずれた点に集光することで、平行かつ斜め照明光を発生させ、エリプソメトリー信号を確保している。本研究では、NIL の位置合わせ工程における粘性抵抗力増大の起源を明らかにすることを目的とし、VEM を用いて、ナノすきまに閉じ込められた紫外線硬化性液体がしゅう動中に発生するせん断力を、ナノすきまを制御しながら測定した。

### 3. 試料と実験方法

図 1 は、VEM を用いたすきま制御型せん断力測定の装置構成を示している。紫外線硬化性液体が反応しないように光源の波長は 525 nm とした。NIL の位置合わせ工程を再現するために、シリコン製平凸レンズ (シリコン基板に対応) とガラス板 (ガラスマールドに対応) を用いた。紫外線硬化性液体の発生するせん断力はしゅう動すきまに強く依存するため、しゅう動面内ですきまを等しくする必要がある。そこで、ガラス板上に作製したマイクロ円柱構造でしゅう動面を制限し、かつシリコンレンズの半径を十分に大きくすることで、しゅう動面内ですきまが等しい平行平板型のしゅう動系を構築した。VEM によりガラス板越しにしゅう動すきまを測定した。試料液体として、紫外線硬化性樹脂を構成するモノマーのみ、離型剤入りモノマー、および光重合開始剤入りモノマーを用いた。

平行板ばねにシリコンレンズを取り付け、ばね変位にばね定数を乗じてせん断力を求めた。X ピエゾステージによってガラス板を水平変位させ各試料液体をしゅう動した。X ピエゾステージは振幅 500 nm、周波数 0.1 Hz あるいは 0.2 Hz の三角波で駆動した。このときのしゅう動速度は 200 から 400 nm/s で、NIL の位置合わせ工程を模擬したせん断条件とした。しゅう動すきまを設定値に維持するために、VEM で測定したすきま信号を、PID フィードバック制御器を介して Z ピエゾステージを上下動させ、しゅう動すきまを制御した。

### 4. 実験結果

本測定では、VEM のすきま信号を用いたフィードバック制御により、しゅう動すきまを 10 nm 前後に保った。モノマーのみでは粘性抵抗力は検出されなかったが、離型剤を添加したものや光重合開始剤を添加したものでは、粘性抵抗力が検出された。このことから、ナノすきまの粘性抵抗力増大は紫外線硬化性液体を構成する添加剤によることが示唆された。

## 5. おわりに

NIL 用紫外線硬化性液体のナノすきまでの粘性抵抗力増大について、垂直観測型エリプソメトリー顕微鏡によるナノすきま制御型せん断力測定により、その原因が光重合開始剤や離型剤の添加剤にあることを示唆する結果を得た。

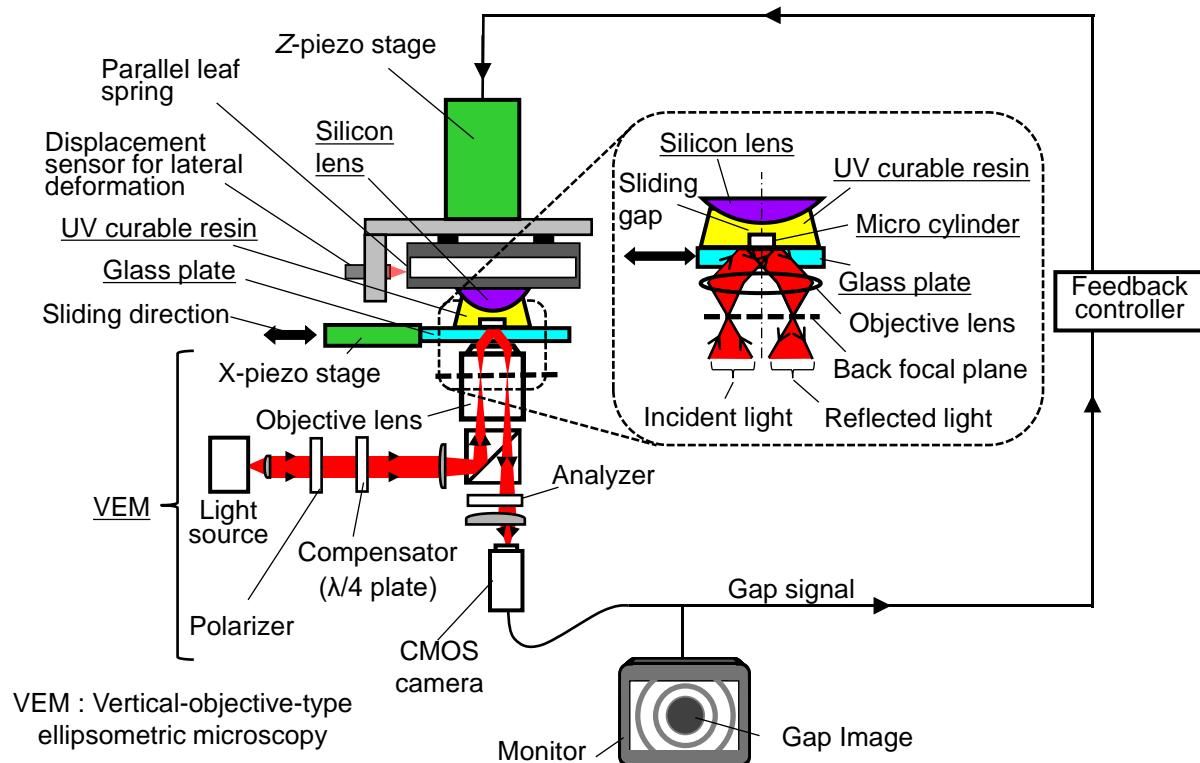


Fig. 1 Setup for shear force measurement with sliding gap control using vertical-objective-type ellipsometric microscopy (VEM).

## 文献

- 1) S. Kobayashi, et al., SPIE 9777 (2016) 977708.
- 2) K. Fukuzawa, et al., Tribol. Int., 122 (2018) 8.
- 3) Y. Song, et al., Macromolecules, 56 (2023) 1954.