

## ナノインプリントにおける離型力のモールド側壁傾斜角依存性 II

Dependence of de-molding force on sidewall slope angle of mold pattern in nanoimprint II

<sup>1</sup>大阪府立大 院 工学研究科, <sup>2</sup>ワルシャワ工科大 マイクロメカニクス・フォトニクス研  
○榎野貴充<sup>1</sup>, 藤井一緒<sup>1</sup>, Marcin Michalowski<sup>2</sup>, 植村公亮<sup>1</sup>, 川田博昭<sup>1</sup>,

Zygmunt Rymuza<sup>2</sup>, 平井義彦<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Osaka Pref. Univ. Graduate School of Eng., Sakai, Japan

<sup>2</sup>Warsaw Univ. of Technology, Institute of Micromechanics and Photonics, Warszawa, Poland

○Kimiaki Uemura<sup>1</sup>, Kazuo Fujii<sup>1</sup>, Marcin Michalowski<sup>2</sup>, Takamitsu Tochino<sup>1</sup>, Hiroaki Kawata<sup>1</sup>,

Zygmunt Rymuza<sup>2</sup>, and Yoshihiko Hirai<sup>1</sup>

E-mail: [hirai@pe.osakafu-u.ac.jp](mailto:hirai@pe.osakafu-u.ac.jp)

はじめに) ナノインプリントにおいて、離型プロセスで発生する欠陥発生メカニズムを解明は、材料・プロセスの最適化に重要である。ここでは、モールドパターン側壁傾斜角が離型力に及ぼす影響を、数値シミュレーションによって考察し、実験との比較を行った。

シミュレーションモデル) Fig.1 に、シミュレーションモデルを示す。パターン側壁傾斜角  $\theta$  のモールドを垂直方向に変位させた場合の反力を計算し、離型力を算出した。レジスト/モールド界面の剥離条件は、

$\sigma_n/P_n)^2 + (\sigma_s/P_s)^2 > 1$  とした[1,2]。ここで、 $\sigma_n$ ,  $\sigma_s$  は、界面での垂直応力とせん断応力で、 $P_n$ ,  $P_s$  は、臨界剥離応力と臨界せん断応力である。樹脂は PMMA とし、臨界応力は、摩擦力顕微鏡を用いた実験によって抽出した。パターンアスペクト比は 1.0 とし、残存膜厚はパターン高さと同じとした。

結果および考察) Fig.2 に離型力の側壁傾斜角依存性を示す(縦軸: 離型力、横軸: モールド変位)。モールドの変位に伴い、離型力は 2 つのピークを示す。

第 1 ピークはレジスト下面剥離時に生じ、第 2 ピークはレジスト側壁と上面の剥離時に生じている。モールド側壁の傾斜角が大きくなると、第 1 ピークは変化しないが、第 2 ピークは大きくなる。これは側壁傾斜角が大きくなるにつれて、側壁剥離に必要な離型力が大きくなるためである。最大離型力は、いずれかの大きい方で観測される。ここで、第 1 ピーク=第 2 ピークとなる傾斜角を臨界傾斜角  $\theta_c$  と呼ぶことにする。傾斜角が  $\theta_c$  より大きい場合、離型力は側壁傾斜角に依存する。一方、側壁傾斜角が  $\theta_c$  より小さい場合、離型力は傾斜角によらず一定となる。Fig.3 に、実験結果との比較を示す。臨界応力  $P_n$  と  $P_s$  の相対比率は、実測では 7 倍から 40 倍程度であるため、ここでは、 $P_n$  と  $P_s$  の相対比を変化させて計算した。数値シミュレーションによる結果が、実験結果をよく表していることがわかる。必要以上に傾斜角を低下させても離型力は低減できないことが、シミュレーションならびに実験により検証できたとともに、離型処理や側壁ラフネスに係る  $P_n$  と  $P_s$  の相対比の依存性についても考察する。

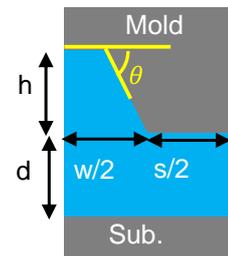


Fig.1. Simulation model

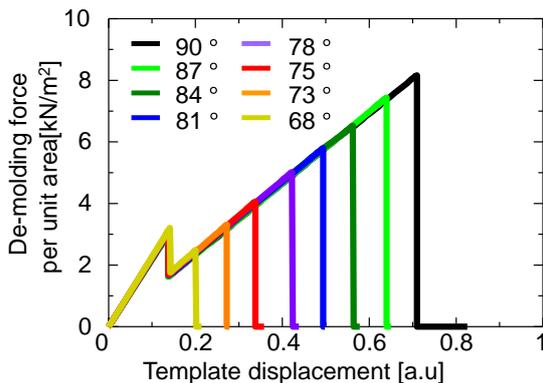


Fig.2. Dependence on side wall angle ( $P_s/P_n=20$ )

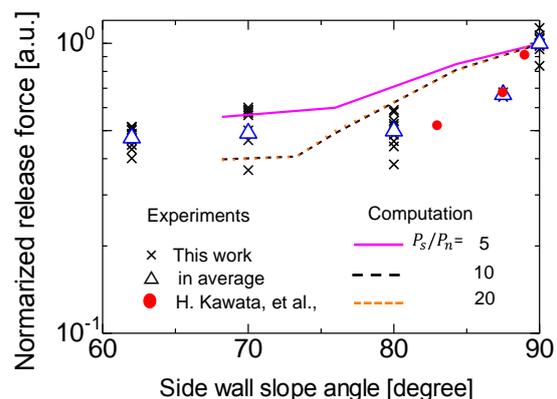


Fig.3. Simulation r and experimental results

### 参考文献

- [1] M. Ortiz, et al., Int. J. Numer. Methods Eng. 44, (1999) 1267.  
[2] T. Shiotsu, et al., J. Vac. Sci. Technol. B 31 (2013) 06FB07