

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 29 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560243

研究課題名(和文) 熱アシストUVインプリントプロセスにおける熱流体挙動のデジタルホログラム計測

研究課題名(英文) Digital hologram measurements of thermohydrodynamic behavior at a thermally-assisted UV nanoimprint process

研究代表者

佐竹 信一 (Satake, Shinichi)

東京理科大学・基礎工学部・教授

研究者番号：90286667

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円、(間接経費) 1,260,000円

研究成果の概要(和文)：熱アシストUV-NILのプレス工程の間でのUV硬化樹脂層の薄膜における高解像度4次元樹脂流動計測を行う為に、マイクロDHPTV法を用いた。UV-NILのプレス工程や流動中にUV硬化樹脂の厚さが減少したとき、その厚みの内部の速度分布を計測した。その結果、ナノインプリントモールド上のUV-NILプレス工程で、基板温度が変化した場合のモールド基板近くの樹脂の流れに影響を考察した。温度に依存する内部速度分布が得られた。

研究成果の概要(英文)：This study reports on a technique for measuring four-dimensional flow of UV curable resin during the process of nanoimprinting by employing a micro-digital-holographic particle-tracking velocimetry (micro-DHPTV) technique. In this study, high time-resolution measurements of flow field of UV curable resin at a press process step accompanied by a heating of UV-NIL were carried. The temperature dependence of UV curable resin was evaluated by measuring the UV curable resin while varying its temperature.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・熱工学

キーワード：流体計測 ホログラム インプリント 光硬化樹脂

1. 研究開始当初の背景

近年、画像機器の発達に伴い、デジタル画像処理を応用した流体計測が広く行われるようになってきた。Adrian は、画像処理に基づく流速計(粒子画像流速計,PIV)を、粒子群の移動距離から局所流速を求める狭義の PIV(Particle Image Velocimetry)、各トレーサ粒子を追跡して流速を求める PTV(Particle Tracking Velocimetry)などに分類している。いずれも、非接触測定のため流れ場を乱さず、平面あるいは空間内の多点の情報と同時に得られるなどの利点を持つ。自然界や産業界で現れる流れや、それに伴う熱・物質の輸送現象は、空間的な広がりを持った渦構造に支配されることが多く、これらの画像計測手法がもたらす情報は、物理的メカニズムの解明、数値予測モデルの開発、人為的な制御手法の構築などに極めて重要であり、近年はホログラムの原理を用いた Holographic PIV が開発され発展している。PIVの原理をマイクロ領域に拡張した μ PIV は、通常 2 次元計測が主流であるが、本申請者はホログラムをマイクロ系への適用を行いマイクロ領域の 3 次元計測に成功した。この方法はホログラムを用い、粒子にレーザー光をあて、生じたホログラム像を直接 CCD に記録し、計算機上でホログラムを再生する DHPTV(Digital Holographic Particle Tracking Velocimetry) という手法である。

一方、近年では MEMS 技術がより発展し NEMS などと呼ばれるに至り、よりスケールの小さい加工に伴う熱流動現象の解明および予測、液滴やマイクロバブルなどの界面近傍の物理現象の解明及び予測が必要とされている。特に、特に半導体デバイスについては微細化の一層の加速による高速動作、低消費電力動作、システム LSI という名で呼ばれる機能の統合化などの高い技術が求められている。1995 年 Princeton 大学の S.Y.Chou 教授らによって提案されたナノインプリントリソグラフィ(NIL)は安価に微細パターンの転写を可能とする技術で、基板上に樹脂を滴下もしくは回転塗布した後、モールドと呼ばれる金型を押し付け、樹脂をモールドのパターン通りに硬化させるという簡便なプロセスで構成される。特に、NIL の一種である UV-NIL は、パターンを得るのに紫外光の照射のみで行え、熱サイクルを用いる NIL に比べ、スループットが高く、温度による寸法変化等を防ぐことができるという点で優れている。そのため次世代の半導体デバイスプロセスのコアテクノロジーとして注目されている。この手法は、予めパターンを作成したものを判子のように UV 効果樹脂を朱肉のイメージで押し付け、UV 光をあて硬化さ

せ、基板側に離型してパターンを大面積に転写するという方法である。しかし、この UV-NIL のプロセスにおいて、UV 照射時の硬化収縮挙動などには不明な点が多く、プロセス中の樹脂分布の予測や充填精度の向上のためにも、その解明は急務である。すでに申請者は、高時間分解能での三次元流れ場計測が可能な前述の micro-DHPTV 法を用いて UV 照射時における硬化中の光硬化樹脂の挙動を観察に成功した。近年この硬化プロセスの前に温度処理を行う熱アシスト UV インプリントがあり温度変化が伴う樹脂の硬化過程の挙動を知ることは重要である。

2. 研究の目的

高繰返しレーザーと 2 台の高速 CCD カメラを組み合わせ、申請者が開発した高速時間分解デジタルホログラフィック計測手法を援用し、マイクロスケールでの温度変化に伴う 3 次元流れ場を非定常で同時計測可能な高速時間分解計測を温度変化に伴う UV 硬化樹脂挙動計測のための応用を試みる。本研究は、熱アシストインプリント下の樹脂流動計測するために、加熱可能な上下インプリントステージにステージの温度変化を組み合わせた圧着過程の樹脂挙動を得ることを目的とする。

3. 研究の方法

マイクロ DHPTV 法に基づいた、UV-NIL プロセスでのその場測定系の概略図を図 1 に示す。

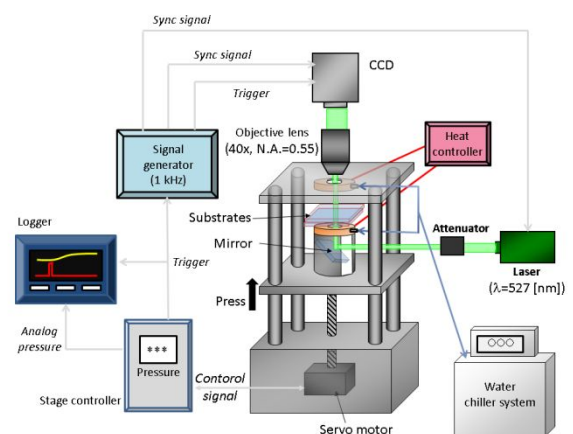


Fig. 1 Schematic view of our *in situ* measurement system.

Nd:YLF レーザー($\lambda=527$ nm)は 1kHz の繰返し率のパルスレーザーを光源として使用した。UV-NIL ステージの力はロードセルを用いて測定した。紫外線硬化樹脂(PAK-01-CL、東洋合成工業株式会社、東京)に粒子直径 2μ を混入した。その後、下段に配置された基

板上に紫外線硬化樹脂 10 μ l を滴下した。樹脂中の粒子のホログラフィックイメージは CCD カメラ (MotionProX3) を用いて捕捉し、粒子座標は、デジタルホログラムによって再構成した。CCD カメラは 1kHz で、3.271 秒間ホログラフィックイメージを撮影するために用いられ、これはプレス工程の開始から終了まで連続的に速度を測定するための時間としては十分である。押圧領域は直径 3cm の円形であった。上面は固定ステージで、下面が可動ステージである。ヒーターとその温度の均一性を制御、維持するためにステージには水チラー配管を備え付けた。上面及び下面のステージは、独立しており、それらの加熱および冷却を設定することができる。温度範囲は 20 40 なるように設定した。また、下面ステージはガラスプレートを備えており、その温度は熱電対で測定を行った。試料の温度および表面処理は、表 1 に示すようにケース 1、2、3、および 4 となるよう設定した。

Table 1 The experimental conditions.

Case	上面ステージ温度 (°C)	下面ステージ温度 (°C)	下面ステージに離型剤の有無
1	22.5	43.6	-
2	42.4	21.9	-
3	22.9	44	-
4	47.4	22.1	-

4. 研究成果

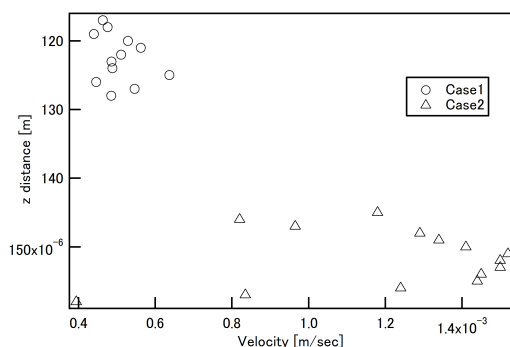


Fig. 2 Velocity profiles for Case 1 and Case 2 (Effect of surface temperature).

図 2 にケース 1 およびケース 2 での 700 ミリ秒から 800 ミリ秒の平均流速分布を示す。垂直軸は、Z 方向を示しており、グラフ上部が観察顕微鏡の対物レンズ側であり、下段は可動ステージ側である。ケース 1 では、ステージ下面温度が上昇しているため、初期の樹

脂濡れ広がりに影響を与え、可動ステージによって押し付けられた時には、ステージ速度が遅くなったとしても、流速は上昇しなかった。

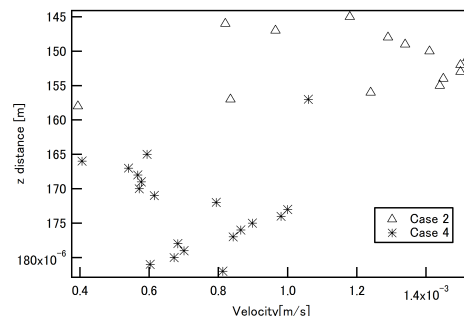


Fig. 3 Velocity profiles for Case 2 and Case 4 (effect of hydrophobic surface).

図 3 にケース 2 およびケース 4 における速度分布を、これら二つの場合における表面処理の影響を比較するために示す。700ms から 800ms の範囲で平均した測定時間の間では下面のステージ温度は 20 として保持されている。ケース 4 では下面側の流速が上昇し、すべり効果が見られた。以上、結果をまとめると以下ようになる。圧着面内部にヒーターを導入し温度分布をつけることによって加熱された樹脂の挙動をとらえることができた。圧着面内部の熱電対と圧力センサー、カメラ撮影を連動させて流動挙動と温度の伝わり方を時系列的にとらえることができた。また温度の変化と平面処理の影響も調べた。この際、一定温度の速度分布との比較を行い、その結果下面の温度を変化した場合のみ、樹脂の流れ分布に影響をあたえる。下面の温度上昇は速度分布を減少させる。離型剤を用いた基板では UV 硬化樹脂の速度の変化がみられた。これらの知見は、圧着面の温度制御によりパターンの転写をコントロールできる可能性を示唆している。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 5 件)

佐竹 信一, 谷口淳, 金井高弘, 海野徳幸, "マイクロ デジタルホログラフィック PTV による UV インプリントプロセスの計測," 日本機械学会熱工学コンファレンス 2011 講演 論文集, 2011.10.29-30, 静岡大学, 浜松, PP. 345-346.

S. Satake, J. Taniguchi, T. Kanai, N. Unno, "Three-dimensional measurements of UV-imprint process by micro-digital

holographic-PTV ", Microelectron. Eng., 97, pp.51-54 (2012).

Noriyuki Unno, Shin-ichi Satake and Jun Taniguchi, "Flow distribution measurements of a thin resin layer at UV-NIL process by using digital-holographic-PTV," Proc. of the 39th International Conference on Micro and Nano Engineering, London, UK, 16-19 September (2013), pp.528.

海野 徳幸, 筒田 剛, 佐竹 信一, 谷口 淳, "ナノインプリント圧着過程における UV 硬化性樹脂の 4 次元流動計測," 第 50 回日本伝熱シンポジウム講演 論文集 (2013-5), ウェスティンホテル仙台および仙台トラストシティ, 仙台, 2013 年 05 月 29 日 - 2013 年 05 月 31 日, D213, Vol. II+III, pp346-347.

浅野元晴, 海野徳幸, 佐竹 信一, 谷口 淳, "ナノインプリント圧着過程中の UV 硬化性樹脂流動に対する基板温度の影響," 第 51 回日本伝熱シンポジウム講演 論文集, アクトシティ浜松・コンgresセンター、浜松, 2014 年 05 月 21 日 - 2014 年 05 月 23 日, ASP103 [学会発表](計 4 件)

佐竹 信一, 谷口淳, 金井高弘, 海野徳幸, "マイクロ デジタルホログラフィック PTV による UV インプリントプロセスの計測," 日本機械学会熱工学コンファレンス 2011, 2011.10.29-30, 静岡大学、浜松.

Noriyuki Unno, Shin-ichi Satake and Jun Taniguchi, "Flow distribution measurements of a thin resin layer at UV-NIL process by using digital-holographic-PTV," Proc. of the 39th International Conference on Micro and Nano Engineering, London, UK, 16-19 September (2013).

海野 徳幸, 筒田 剛, 佐竹 信一, 谷口 淳, "ナノインプリント圧着過程における UV 硬化性樹脂の 4 次元流動計測," 第 50 回日本伝熱シンポジウム 2013, 2013.05.29-31, ウェスティンホテル仙台および仙台トラストシティ, 仙台

浅野元晴, 海野徳幸, 佐竹 信一, 谷口 淳, "ナノインプリント圧着過程中の UV 硬化性樹脂流動に対する基板温度の影響," 第 51 回日本伝熱シンポジウム 2014, 2014.05.21-23, アクトシティ浜松・コンgresセンター、浜松 [図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

[その他]

なし

6 . 研究組織

(1)研究代表者

佐竹 信一 (SATAKE SHINICHI)

東京理科大学・基礎工学部・教授

研究者番号：90286667