

0.8 倍の暗視野光学系で精度 10nm 以下の位置ずれを検出

ナノメートルオーダーで位置合わせが可能なナノインプリント技術

- 本技術は、0.8 倍の暗視野光学系で、合成石英製の上部基板（成形型）に対するシリコン基板（下部基板）の位置ずれを精度 10nm 以下で検出可能です。
- 本技術を搭載したナノインプリント装置により、半導体や透明基板のナノ加工が可能となり、ナノ構造体からなるメタオプティクスやメタフォトンクスの積層型デバイス製造への応用が期待されます。

本技術を搭載した装置の実機を、共同研究企業の明昌機工株式会社のブース (AT-L06) にてご覧いただけます。

- 特許情報
特許番号：特許第 7768,564 号（日本）、US12,485,604-B2（米国）
登録日：2025 年 11 月 4 日（日本）、2025 年 12 月 2 日（米国）
発明の名称：位置合わせ方法、積層体の製造方法、位置合わせ装置、積層体製造装置、及び積層体
特許権者：国立大学法人東北大学
発明者：中川勝、原田スバル、早川俊昭
- 本件に関する問い合わせ先：
（本技術に関すること）東北大学多元物質科学研究所 教授 中川勝
Email : masaru.nakagawa.c5@tohoku.ac.jp
（報道に関すること）東北大学多元物質科学研究所 広報情報室
Email : press.tagen@grp.tohoku.ac.jp

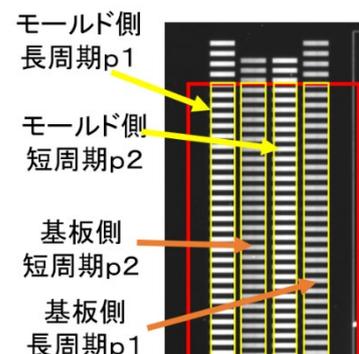
- 詳細な説明

(1) 研究開発の背景

微細加工や積層化においては、ナノ構造体を形成する位置が重要であり、位置合わせのずれが性能に大きく影響を及ぼすことから、10nm 以下の位置ずれ量を計測可能な製造装置が必要とされています。従来、ナノ構造体の位置ずれ量の計測は、高倍率での実物観察や、積のモアレ（光の干渉縞）を用いて実際の位置ずれ量を差分周波数として観測可能な低周波信号に変換する方法などが用いられていますが、高精度の位置合わせの計測では、非常に大掛かりで高額な製造装置でしか実現できていませんでした。

東北大学 多元物質科学研究所の中川勝教授らの研究グループは、ナノインプリント成形加工技術の研究開発を行っています。光硬化性樹脂からの蛍光や微小構造体からの散乱光を検出する位置合わせ方法について、画像解析の観点から研究を進め、独立 4 組検出マークを特徴とする位置合わせ技術を発明しました。研究開発や中小企業での製造に使える、手軽に高精度の位置ずれ量を検出することが可能な、ナノ構造体の製造に資する微細加工用のパターン形成が行えるナノインプリント成形装置を開発することを目標として、2021 年より明昌機工株式会社との共同研究を進めてきました。

「独立 4 組検出マーク」について、0.8 倍の暗視野撮像の例を紹介いたします。



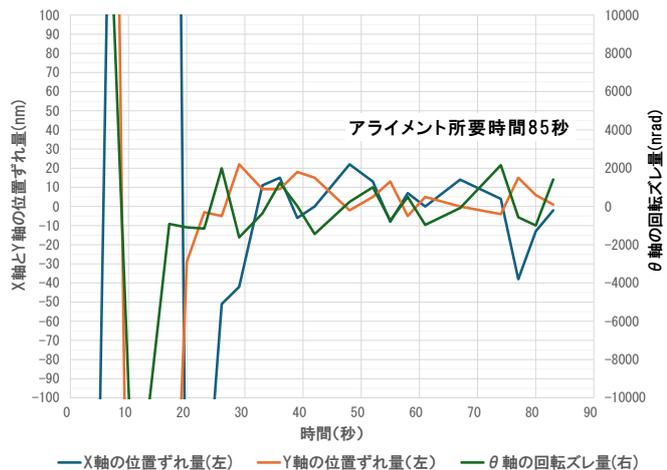
上部基板（成型型の合成石英モールド）に長周期 p1 と短周期 p2 を配置、下部基板（シリコン）の表面にも短周期 p2 と長周期 p1 の棒状配列体を配置しています。このように、4 組の独立検出マークを使用するところが本技術の特徴です。

赤色枠は、位置ずれ量を検出するパターンの認識領域です。黄色枠内の棒状配列体から生じた散乱光を撮像して、それらの周期を余弦波（Cos 関数）で解析し、各余弦波の位相差から、上部基板（成型型）と下部基板（シリコン基板）の位置ずれ量を 1nm の桁精度で認識できます。

（2）研究内容

実物大の等倍程度の撮像では、1 画素に投影されるサイズは 5 μ m 程度となるため、10nm 以下の位置ずれ量の検出は撮像画素サイズの約 2000 分の 1 のずれ量を計測することになります。本技術では、2 種類の周期を有する棒状配列体の 2 組を成型型（合成石英モールド）とシリコン基板のそれぞれに配置し、お互いが重ならないように重ね合わせます。この独立 4 組検出マークを用いることで、理論上 1nm 未満の位置ずれ量の検出が可能です。本技術を搭載した装置では、実際に 0.8 倍の暗視野光学系での散乱光検出で 10nm 以下の精度で成型型（合成石英モールド）に対するシリコン基板の位置ずれ量を検出できることを確認しました。（図 1）

図 1. 本技術を搭載した装置での 10nm 以下に位置合わせ（アライメント）が収束するまでの時間

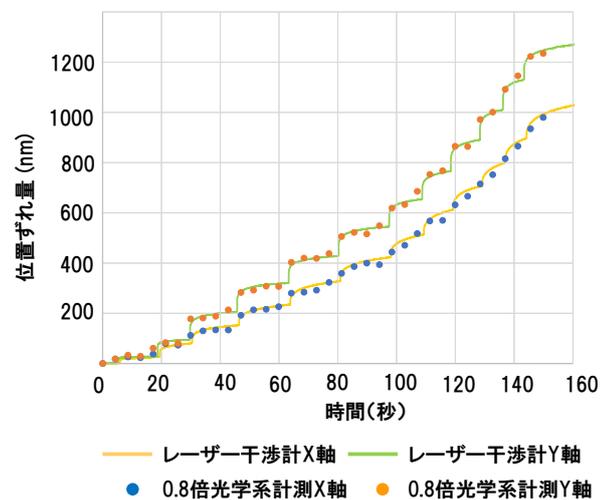


（3）今後の展開

位置ずれ量の検出技術は、高速撮影と組み合わせることでナノスケールでの振動計測への応用が可能となります（特許出願中）。実際に、今回開発したナノインプリント成形装置において装置振動の抑制に役立ちました。市販のピコメートル（ナノメートルの 1000 分の 1）の変位を計測できるレーザー干渉計と同等の性能を示すことも確認しました（図 2）。

図 2. 市販のレーザー干渉計による位置ずれ量の検出と、本位置合わせ技術を搭載したナノインプリント装置（明昌機工製作）での取得画像から計測された位置ずれ量の同時計測の結果を表す図

0.8倍光学系計測(本技術)とレーザー干渉計(従来技術)の比較



可視光照明の検出系では、合成石英製の平面光学素子（フラットオプティクス）の重ね合わせに、近赤外照明の検出系では、シリコン基板の重ね合わせにも利用可能です。装置振動の抑制技術の進歩により 1nm 分解能、さらには原子レベルの 0.1nm 分解能での位置ずれ量検出技術の創出も可能になると考えています。可視光や赤外光を変調するメタオプティクスやメタフォトンクスでの積層型デバイス製造への貢献が期待されます。

本研究成果は、2023 年度の成長型中小企業等研究開発支援事業（Go-Tech 近畿局）に採択された「ナノインプリントにおける 10 ナノメートル以下の超高精度位置合わせ技術の開発」（代表者 明昌機工株式会社）の支援を受けて実施されました。