

装置のアライメント精度を上回る マスクアライメント手法の研究

宮口 孝司* 佐藤 健* 山田 敏浩*

A Study on Alignment Method Beyond Machine Alignment Accuracy

MIYAGUCHI Takashi*, SATO Takeshi* and YAMADA Toshihiro*

抄 録

回折光学素子(DOE: Diffractive Optical Element)など多レベル深さの素子を作製する際には、複数の露光・エッチングを繰り返す必要があり、なおかつサブ μm オーダーのマスクアライメント精度が要求される。一部の露光装置にはサブ μm オーダーのアライメント機構を持つものがあるが、汎用的な装置では $1\sim 2\mu\text{m}$ 程度のアライメント精度のものも多い。本研究では、バーニアの原理を用いることによって、 $2\mu\text{m}$ のアライメント精度を持つマスクアライナで、サブ μm オーダーのアライメントを実現する手法を開発した。

1. 緒 言

3Dセンシングや顔認証などに使用される回折光学素子は、シンプルな光学系で任意の投射パターンを生成できるため、今後さらなる用途拡大が期待されている¹⁾。

DOE は大きく位相型と振幅型の 2 種類に分類され、位相型は振幅型に比べて高い回折効率を有する。また、多値化により回折効率を向上できることが知られている。理論上の回折効率は、2, 4, 8 レベルのとき、それぞれ 0.41, 0.81, 0.95 である²⁾。

しかし、フォトリソグラフィーにより多レベル構造を形成する場合、複数のフォトマスクを用いた露光およびエッチング工程を繰り返す必要があり、この際のマスク重ね合わせ精度が回折効率や形状精度に大きく影響する。

本研究では、4 レベルの DOE モデルを対象とし、装置のアライメント精度を超える重ね合わせ精度を実現する手法について検討した。

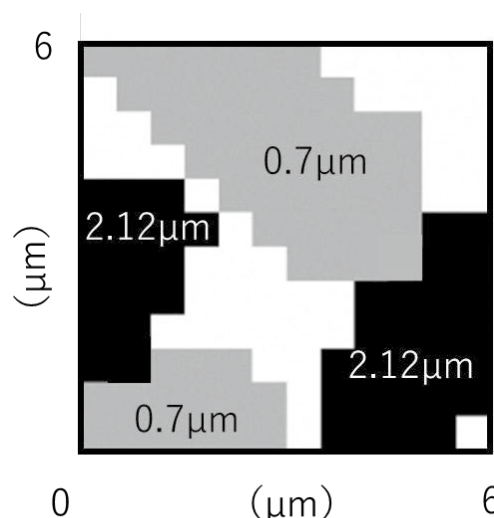


図1 4レベルのDOEモデル形状

2. マスク重ね合わせ

2.1 原理及び実験方法

図1に4レベルのDOEモデル形状を示す。想定する波長は $1.55\mu\text{m}$ とし、DOE 材料の屈折率は 1.54 と仮定した。本モデルは x および y 方向に周期 $6\mu\text{m}$ で配置されている。灰色部分は深さ $0.7\mu\text{m}$ 、黒色部分は $2.12\mu\text{m}$ の深さにエッチングされる構造である。2つの要素は完全に分離しており、実質的には3レベル構造となっている。

図2に周期的に配置したDOEモデル形状を示す。深さ $0.7\mu\text{m}$ の要素1と深さ $2.12\mu\text{m}$ の要素2

* 技術統括センター

レーザー・ナノテク研究室

は隣接して配置されており，フォトマスクの重ね合わせ誤差は形状の劣化を招くため，サブ μm オーダーの位置合わせが要求される。

表 1 に DOE モデルの作製条件を示す。使用したマスクアライナの仕様上の重ね合わせ精度は $\pm 5\mu\text{m}$ であるが，撮像系の改良および微動機構の改善により，実効的には $\pm 2\mu\text{m}$ まで向上させている。本研究ではこの装置を用い，サブ μm 精度のアライメントを実現する方法を検討した。

図 3 に 2 種類のマスク形状を示す。これらを周期的に配置したフォトマスクを用い，両者を適切に重ね合わせることで図 2 の構造を形成する。

図 4 にフォトマスクのパターン配置を示す。フォトマスク 1 は 10mm 間隔でパターン領域を配置しているのに対し，フォトマスク 2 では 9.9994mm 間隔で配置している。この微小なピ

ッチ差 ($0.6\mu\text{m}$) により，バーニア効果を利用した高精度な位置合わせが可能となる。

両マスクを完全に重ね合わせた場合，中央領域ではずれが $0\mu\text{m}$ となり，隣接領域では相対的に $0.6\mu\text{m}$ のずれが生じる。したがって，中央部

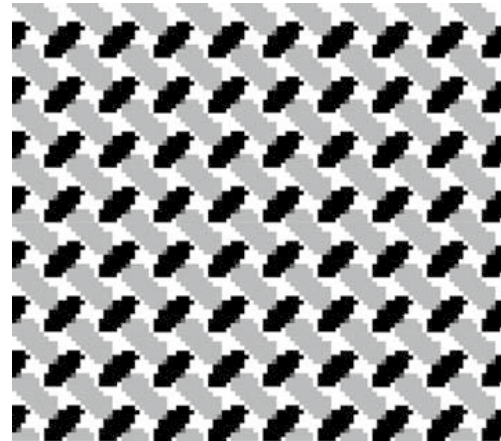


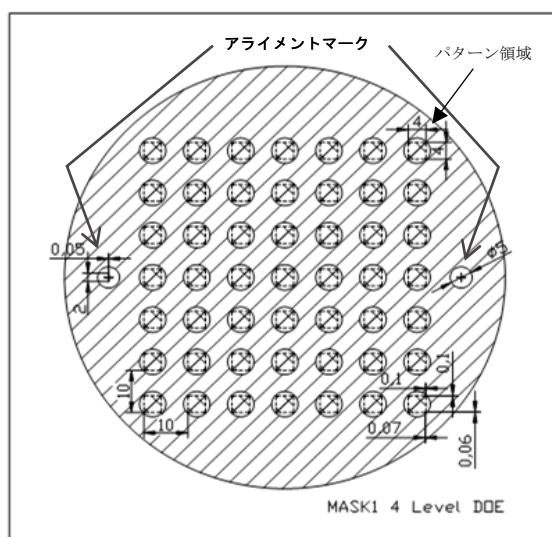
図 2 周期的に配置した DOE モデル形状

表 1 DOE モデル作製条件	
マスクアライナ	ユニオン光学 PEM-800 マスク合わせ精度 $\pm 2\mu\text{m}$
基板	$\phi 100\text{mm}$, $t=0.525\text{mm}$ Si ウェハ
フォトレジスト	OFPR-8600 (23cP)
ドライエッチング	住友精密工業 ASE-HRME (ボッシュプロセス)

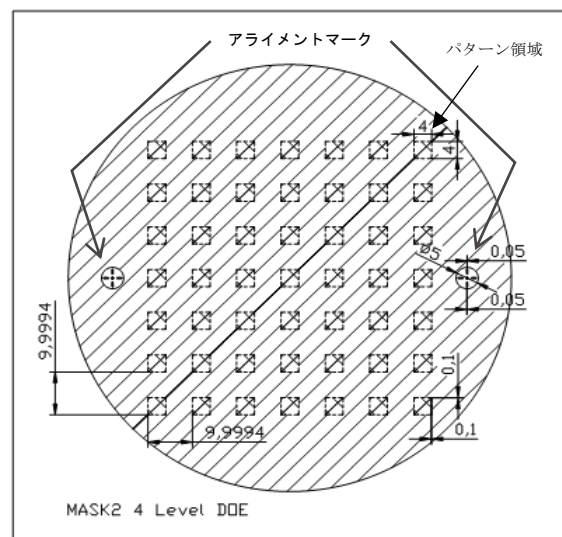


マスク 1 (要素 1) マスク 2 (要素 2)

図 3 2 種類のマスク形状



フォトマスク 1



フォトマスク 2

図 4 フォトマスクのパターン配置

において、最大で約 $1.8\mu\text{m}$ の位置ずれが存在しても、いずれかの領域において $0.6\mu\text{m}$ 以下のずれに抑えることができる。

図5に露光およびエッチングの工程を示す。1回目は浅い構造を形成するマスク1を用い、2回目にマスク2を用いた。これは、2回目のフォトリソト塗布により表面の平坦性を確保するためである。最終的に電鍍工程により転写面型を作製する。

2.2 実験結果

図6に重ね合わせ露光およびエッチング後の形状を示す。マスクのずれが最小となる領域（中央写真）で、2つの要素のずれを見積ると、図示部分の隙間は $0.8\mu\text{m}$ であり、他方の隙間が $0\mu\text{m}$ なので、実際のずれ量としては $0.4\mu\text{m}$ である。ずれの方向が 45° 傾いていることを考慮して x および y 方向に分解すると、それぞれ $0.28\mu\text{m}$ になり、 x および y 方向のずれ量は $0.6\mu\text{m}$ 以下に収まっている。上下左右の写真はそれぞれの方向に隣接するパターン領域であり、それぞれ異なる方向にずれが生じている。

当該領域は設計した DOE 構造に近い形状を示しており、本手法により高精度な重ね合わせが実現できていることが確認された。

また、パターン領域数を増やし、ピッチ差をより細かく設定することで、さらに高精度な位置合わせが可能であると考えられる。

ただし、本手法は2枚のマスクを前提としており、3枚以上のマスクを用いるマルチレベル構造への適用には異なる手法の検討が必要である。

3. 結 言

- (1) バーニアの原理を用いたフォトマスク設計により、装置精度を超える重ね合わせ手法を提案した。
- (2) 本手法により、重ね合わせずれ量を $0.6\mu\text{m}$ 以下に抑制できることを確認した。

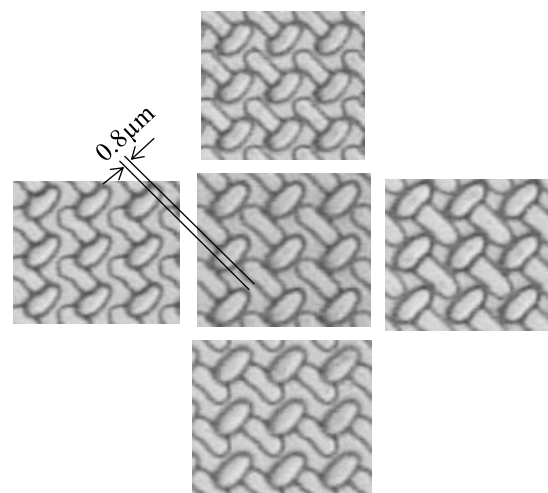
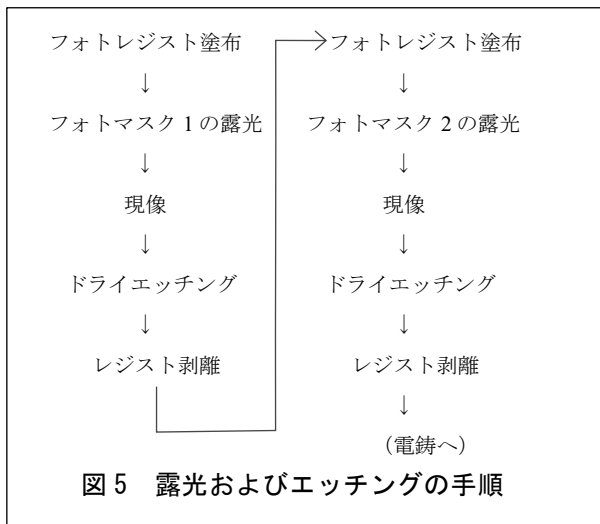


図6 重ね合わせ露光およびエッチング後の形状

本報告は、三共化成(株)及び長岡工業高等専門学校の永井睦准教授との共同で実施した、令和5年度中小企業政策推進事業費補助金（成長型中小企業等研究開発支援事業）「3Dセンシング普及促進の一翼を担うマイクロ部品を実現する革新的転写技術の開発」の一部を抜粋したものである。

参考文献

- 1) 例えば AGC DOE・ガラス拡散板,
https://www.agc.com/products/electronic/detail/doe_and_diffuser.html, (閲覧 2026-3-19).
- 2) 例えば(社)応用物理学会 日本光学会 光設計研究グループ監修, 回折光学素子入門, (平成11年), p.15.