

FPD 用高精度フォトマスクブランクスの開発

八神高史, 小澤隆仁, 宝田庸平, 林 賢利, 宮城茂彦, 瀧 優介

Nikon's High-definition Photomask Blanks for Flat Panel Displays

Takashi YAGAMI, Takashi OZAWA, Yohei TAKARADA, Kento HAYASHI, Shigehiko MIYAGI and Yusuke TAKI

フォトマスクブランクスは、微細な配線パターン等を転写するために、パターン形成用の遮光膜・位相シフト膜を石英ガラス製のフォトマスク基板の上に成膜した製品である。フォトマスクブランクスをを用いてパターンを転写したガラスプレートは、フラットパネルディスプレイ（FPD）としてTVやスマートフォンに使用されている。

FPDの大型化に伴い、FPDを露光するためのフォトマスクブランクも大型化しており、最も大型のG10世代では2m四方近くある。大型のフォトマスクブランクにおいては、平面度の面内均一性、遮光膜・位相シフト膜の光学特性面内均一性という要素が大きな課題となる。なぜならば、フォトマスク基板のサイズが大きいため、均一に表面を研磨する技術、スパッタリング法によりパターン形成用膜を広範囲にわたり均一に成膜する技術、広いエリアを精度よく測定する技術が確立し難いためである。同時に、基板平面度の面内均一性・膜の面内均一性はパターンの転写精度に大きな影響を及ぼすため、FPD露光装置側からの要求が厳しいためでもある。

ニコン製 FPD 用高精度フォトマスクブランクスは、非常に高い基板平面度、膜の光学特性面内均一性を有し、次世代の高精細ディスプレイの製造に不可欠な製品である。また、その測定値は、高い測定精度を誇るニコン製の測定装置により保証されている。

Photomask blanks consist of a photomask substrate and a binary film or a phase shift film on the surface to transfer the circuit pattern. High-volume panels with transferred circuit pattern are embedded into flat panel displays (FPDs).

The demand for larger-sized displays has been increasing, and, accordingly larger panels are required. Currently the largest photomask substrate size is approximately 2 m × 2 m (G10 Mask). Uniformities of flatness and optical characteristics are significant issues in realizing larger-sized photomask as attaining these uniformities over large areas is highly challenging. However, these uniformities require pattern-transfer accuracy; therefore, the demand for high-definition photomask blanks must be satisfied.

Nikon's high-definition photomask blanks exhibit high precision over G10 photomask area, such as the higher flatness uniformity, optical characteristics uniformity resulting from Nikon's high precision polishing, film deposition and measurement technologies.

In this report, we introduce these excellent properties of these photomask blanks for application in advances FPD Panels.

Key words FPD フォトマスクブランク、フォトリソグラフィ、平面度測定、重ね合わせ精度、位相シフト膜
FPD photomask blanks, photolithography, flatness measurement, overlay, phase shift mask

1 はじめに

液晶ディスプレイや有機ELディスプレイは、画素ごとに発光色や輝度を制御することで画像を表示させている。ディスプレイには、発光の制御のために薄膜トランジスタ回路が形成されているが、この回路のパターンはFPD露光装置内で原版から光を用いて転写している（Fig. 1）。異なる配線パターンをもつ原版から転写を重ねていくことで、最終的に3次元の配線パターンを持った回路を転写できる。この転写工程を大量のパネルに行うことでディスプレイは大量生産されている。原版となっている石英ガラスをフォ

トマスク基板と呼び、その表面に原版となるパターン形成用の膜（遮光膜・位相シフト膜）を成膜したものをフォトマスクブランクと呼ぶ。

ディスプレイのサイズは年々大型化が進んでおり、この流れを受けて原版となるフォトマスクのサイズも大型化している。最大サイズは第10.5世代用フォトマスク（以下G10マスクブランクと呼ぶ。なお、表面に成膜していないものはG10基板と呼ぶ。）と呼ばれ、2m四方に近い。G10基板にパターン形成用膜を成膜する場合、成膜エリアも2m四方に近く、極めて大型のフォトマスクブランクとなる。本稿では、パターン転写性能を向上させるため、

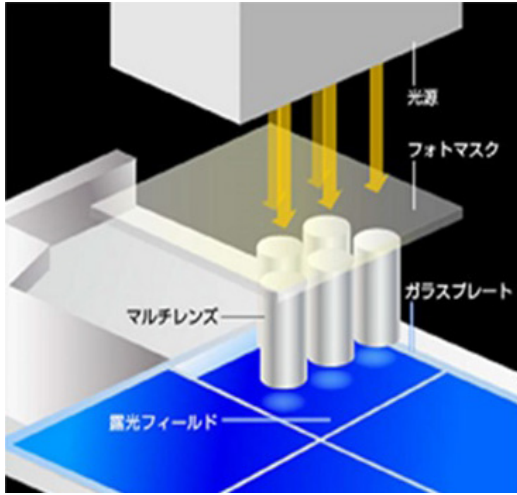


Fig. 1 FPD 露光装置内における露光の様子¹⁾

高い平面度を有するフォトマスク基板を紹介する。

また、回路パターン形成層の膜は、露光光の遮光によってパターンを転写することが目的の遮光膜（バイナリー膜）や、露光光を半透させて位相を反転させ、転写したパターンのコントラストを向上させることを目的とした位相シフト膜などのヴァリエーションが存在する（Fig. 2）。本稿では高精細ディスプレイ量産に必要な位相シフト膜を紹介する。

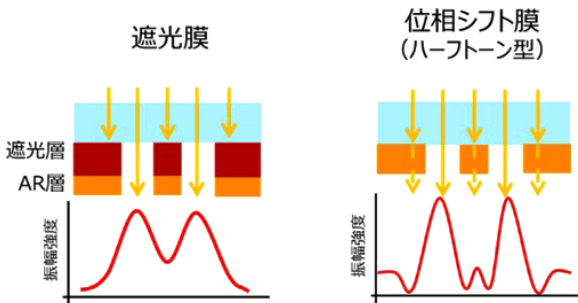


Fig. 2 パターン形成用膜の膜構造

2 FPD用フォトマスクブランクスの特徴

フォトマスクブランクスは、パターンの転写特性に大きく影響する。例えば、FPD 露光装置にフォトマスクをセットするとき、たわみが発生するのでたわみ補正を行うが、この補正はフォトマスク基板が完全な平面であることを前提としているため、フォトマスク基板の平面度が低い場合は補正ずれが大きくなってしまふ。また、パターン形成用の遮光膜や位相シフト膜の光学特性面内均一性が低いと、パターンをガラスプレートに転写する際に回路の寸法ずれに繋がってしまう。そこで、フォトマスクブランクスは上記のような特性の面内均一性が高い＝高精度でなければならないという要求が生じる。

一方で、先述したようにFPD用フォトマスクブランクスは近年大型化しているため、上記の要求に答えることは難

しい。最大約 2 m 四方の石英ガラス表面の平面度を高くする研磨技術、同じく約 2 m 四方の遮光膜や位相シフト膜の光学特性面内均一性を良好化する成膜技術、そして、これらの物性値を精度良く広いエリアで繰り返し測定できる計測技術が必要になるためである。

3 ニコン製 FPD 用高精度フォトマスクブランクスの特徴

ニコン製 FPD フォトマスク基板は高い平面度面内均一性を有し、また、これに遮光膜・位相シフト膜を成膜したフォトマスクブランクスは光学特性面内均一性が最大サイズの G10マスクブランクスにおいても高いことを特徴としており、次世代の高精細ディスプレイを製造するうえで重要な製品である。

・平面度面内均一性

まず、Fig. 3 では G10基板における面内平面度を示している。表面、裏面、板厚ばらつき（Total Thickness Variation, TTV）の全てについて、平面度面内均一性は 3 μm 以下を達成しており、通常仕様での表面・裏面 20 μm、板厚 30 μm に対して非常に高い平面度であることがわかる。我々はこのフォトマスク基板をスーパーフラットマスク（Super Flat Mask, SFM）-SS という仕様で製品化している。他にも規格があるが、これらを Table 1 に示す。

このような高い平面度が G10基板でも得られるのは、基板内の任意の箇所の平面度を制御できる研磨技術が必要であり、ニコンでは長年の技術の蓄積によって研磨技術を磨き上げている。

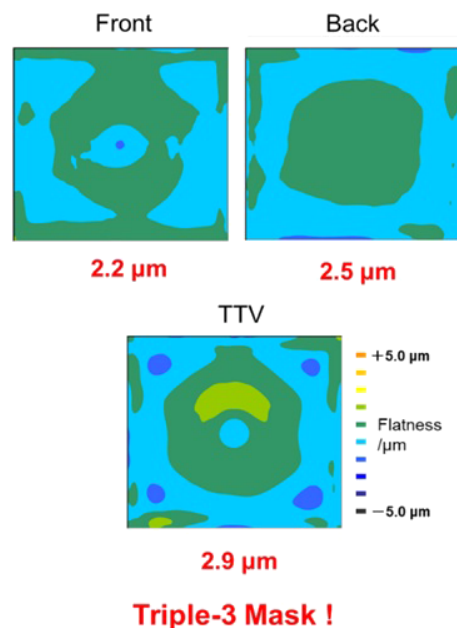


Fig. 3 G10基板の面内平面度

Table 1 フォトマスク基板の平面度仕様一覧

Subjects	SFM-SS	SFM-S	SFM	Normal
Flatness of front surface	$\leq 3 \mu\text{m}$	$\leq 5 \mu\text{m}$	$\leq 7 \mu\text{m}$	$\leq 20 \mu\text{m}$
Flatness of back surface	$\leq 3 \mu\text{m}$	$\leq 5 \mu\text{m}$	$\leq 10 \mu\text{m}$	$\leq 20 \mu\text{m}$
TTV (Total Thickness Variation)	$\leq 3 \mu\text{m}$	$\leq 5 \mu\text{m}$	$\leq 10 \mu\text{m}$	$\leq 30 \mu\text{m}$

・フォトマスク基板平面度と重ね合わせ精度

あるディスプレイメーカーにご協力いただき、Low-Temperature Poly Silicon (LTPS) TFT 製造工程においてフォトマスク基板の平面度が、パターンの重ね合わせ精度 (Overlay) に与える影響を評価することができた。

Fig. 4 は、評価手順の模式図である。フォトマスク基板、ガラスプレートおよび露光装置の世代は第6世代である。ガラスプレートの誤差の影響を考慮するため、ガラスプレートは3枚用意している。フォトマスク基板については、サイズは800×920 mm、平面度は通常仕様と SFM-S の2種類を用い、重ね合わせ精度は通常仕様×通常仕様、SFM-S×SFM-S の2組で比較している、全14層のパターンのうち、特に精度の求められるパターン間 (Fig. 4 の A-B 間、B-C 間、B-D 間) での重ね合わせ精度を比較した。ガラスプレート1枚あたり168点 (=14点*3列*4スキャン)、ガラスプレート3枚で合計504点の重ね合わせ精度を測定し、ばらつき3σを求めた。

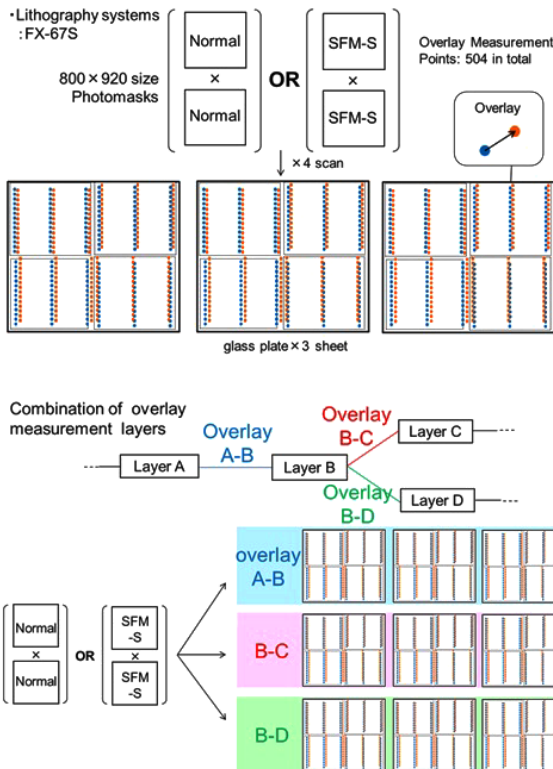


Fig. 4 フォトマスク基板平面度による重ね合わせ精度確認手順

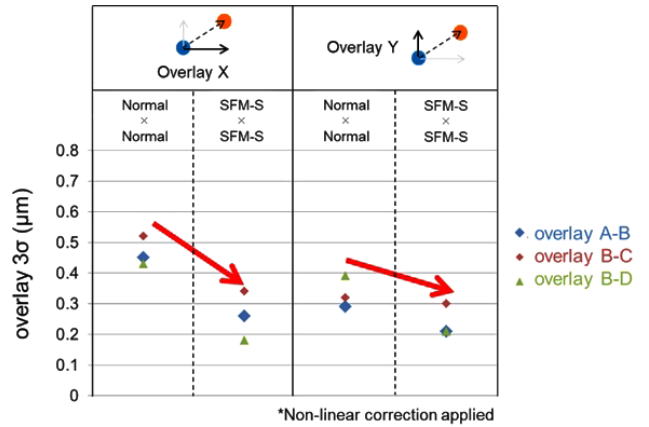


Fig. 5 重ね合わせ精度確認実験の結果

この結果、通常仕様のフォトマスク基板と比較して、SFM-Sを用いた場合、重ね合わせ精度が改善することが示された (Fig. 5)。すなわち、平面度の高いフォトマスクを用いることが、高精細ディスプレイの生産において適することが分かった。

4 高精度ブランクスを支える測定技術

仮に平面度の高いフォトマスク基板を製造できても、平面度を正確に測定できなければ平面度の保証ができない。また、仮に光学特性面内均一性の高いフォトマスクブランクスを製造できても、光学特性を正確に測定できなければ、測定装置によるばらつきが加えられ、面内均一性は実際よりも悪くなってしまう。

このように、高精度フォトマスクブランクス製造には高精度測定技術が不可欠である。本稿では、ニコン製平面度測定機 ALGS (Analyzer for Large size Glass Surface の略) を紹介する。ALGSによって、G10基板でも平面度を正確に多点測定でき、平面度面内均一性を精密に調整することができる。

・フォトマスク基板平面度測定機 ALGS

ニコン製平面度測定機 ALGS は、フォトマスク基板の平面度を高精度に測定できる装置である。最大で G10基板まで搭載できる。

高精度の特長は、装置全体の変形や振動を抑えた高剛性のフレームを採用したことと、測定機にセットした際に生じる基板の歪みを抑制する基板保持システムである。

また、社内製作の装置であるため、実測した平面度測定結果を詳細に分析し、設備の高精度化改造へ展開し年々高精度化を進めている。

ALGS は基板姿勢を変化させた測定を定期的に行い、偏り精度の確認も実施している。この結果を Fig. 6 に示す。

Fig. 6 より、測定ばらつきは 0.4 μm に抑えられており、SFM-SS の測定値を保証するのに十分な精度であること

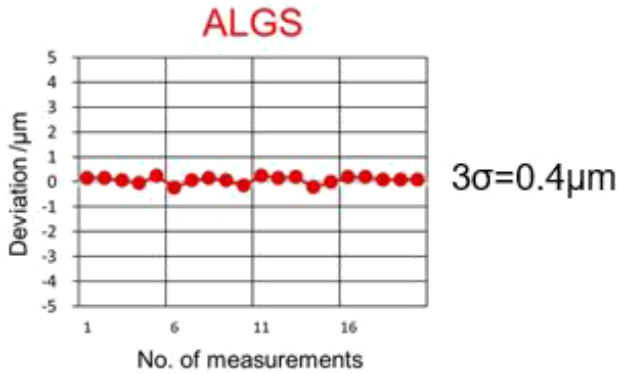


Fig. 6 ALGSの平面度繰り返し測定再現性

がわかる。このように、高い測定技術によって、ニコン製フォトマスクブランクス品質は保証されている。

・光学特性面内均一性

フォトマスク基板上に成膜された遮光膜・位相シフト膜については、光学特性面内均一性が低いと、結像特性の悪化につながるため、遮光膜では反射率、位相シフト膜では透過率・位相シフト膜の面内均一性が高いことが求められる。本稿では位相シフト膜に焦点を絞って紹介する。

Fig. 7 に G10 Cr 位相シフトマスクブランクス透過率・位相シフト量面内均一性を示す。高精細向け位相シフトマスクブランクス一般的な仕様は、透過率面内均一性が 0.7%、位相シフト量面内均一性が 10° である。Fig. 7 を見ると、G10 マスクブランクスにもかかわらず高精細向けの仕様を達成していることがわかる。

このような高い光学特性面内均一性は、成膜条件の局所的な変化によるフィードバック制御によって得られている。直前のバッチでの面内均一性を測定し、目標値からのばらつきが大きい箇所の成膜条件を自動調整することで面内均一性を向上させるニコン独自の手法である。

・位相シフト膜の断面形状

位相シフト膜は、光学特性の面内均一性だけでなく、パターン形成後の断面形状が垂直に近いことが必要である。断面形状が傾斜していると傾斜部分の位相シフト量は 180° から大きくずれるため、パターンのエッジ部での露光光の振幅打消しが弱くなり、コントラスト改善効果が低下して

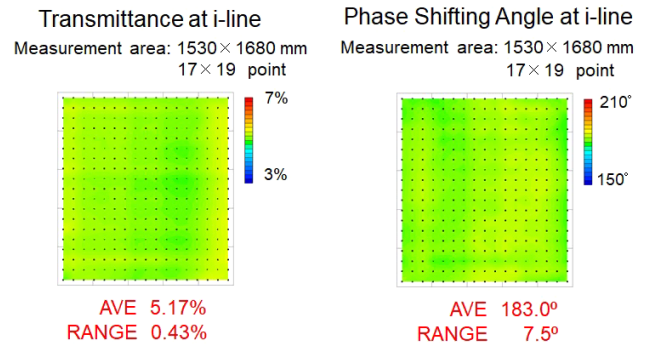
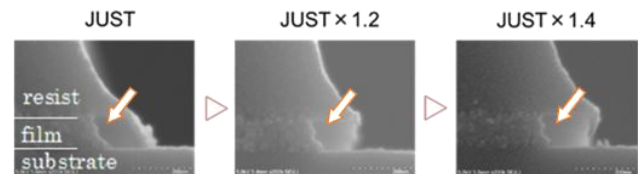


Fig. 7 G10 Cr 位相シフトマスクブランクス透過率・位相シフト量面内均一性

しまう。

Fig. 8 に Cr 位相シフト膜のパターン形成後の断面形状を示す。Cr 膜のエッチング液に浸漬する時間が長くなるにつれて、膜の断面角度が垂直に近づいているのが確認できる。ニコン製位相シフト膜は断面形状の点でも高精細ディスプレイ量産に適した膜であることがわかる。



※JUST: 目視で膜が溶解し切る時間

Fig. 8 Cr 位相シフト膜のパターン形成後の断面形状 SEM 像

5 まとめ

ニコン製フォトマスクブランクスは、高い測定技術によって保証された、高い基板平面度面内均一性、光学特性面内均一性を有し、G10 マスクブランクスでもこれらの特性を保持している。次世代の高精細ディスプレイを量産するのにふさわしい高精度のフォトマスクブランクスである。

引用文献

- 1) 株式会社ニコン FPD 装置事業部, “マルチレンズ・システムでガラスプレートの大型化に対応”, <https://www.ave-nikon.co.jp/fpd/technology/story03.htm>



八神高史
Takashi YAGAMI
ガラス事業室
製造部
Production Department
Glass Business Unit

小澤隆仁
Takashi OZAWA
ガラス事業室
製造部
Production Department
Glass Business Unit

宝田庸平
Yohei TAKARADA
ガラス事業室
製造部
Production Department
Glass Business Unit

林 賢利
Kento HAYASHI
ガラス事業室
製造部
Production Department
Glass Business Unit

宮城茂彦
Shigehiko MIYAGI
ガラス事業室
製造部
Production Department
Glass Business Unit

瀧 優介
Yusuke TAKI
ガラス事業室
製造部
Production Department
Glass Business Unit