

最近の技術から

X線リソグラフィ用マスク

山口 洋一

HOYA(株) R & D センター 〒196 昭島市武蔵野 3-3-1

1. ま え が き

放射光(SR)を線源として用いるX線リソグラフィは、1 GbDRAM(最小線幅 1.5 μm)の量産から実用化が期待されている。そしてそれに用いられるX線マスクは、プロキシミティ露光となるために、等倍の大きさとなる。図1にX線マスクの構成図を示した。主としてX線メンブレン(透過膜)、Si ウェハに転写する ULSIパターンが描かれているX線吸収体の2構成要素からなる。実用化を目指して研究開発が進められているこれら構成要素の最近の開発状況を主として紹介する。また、実用技術としては、不可欠である製作工程の最適化、ULSI パターンの電子線による描画技術、描かれたパターンの検査・修正技術の現況にも若干触れてみたい。

2. X線メンブレン

X線メンブレンに対する要求特性は、(1) SR 光に対する高透過率(通常膜厚は 1~2 μm)、(2) 適度な引張り応力を有すること、(3) 優れた SR 光照射耐性、(4) X線アライナー装着時に高精度アライメント達成のために必要となる高い可視光透過率、(5) 高い機械的強度(高ヤング率)、(6) 優れた表面平滑性など多岐にわたる¹⁾。過去種々の材料が候補に上がり、上記の特性を満たすべく評価されたが、現在では炭化珪素(SiC)と窒化珪素(SiN₂)に絞られてきたと言って良いであろう。この2種の材料からなるメンブレンに対して、上記特性の(3)と(4)の評価が盛んに行われている。SR光により引き起こされる損傷は、照射の前後での、紫外・

可視光分光透過率の劣化やパターン座標測定機(Nikon 3i, 測定限界 20~30 nm (3 σ))によるパターン位置のずれ(要求値は 30 nm (3 σ)以下)により評価される。SiC については、約 500 kJ/cm²という高いドーズ量まで照射が行われたが、どちらにも変化がなく、損傷は生じていない²⁾。SiN₂については、製作条件により結果は異なるが、1000°Cという高い温度で堆積させた膜は透過率の劣化が若干引き起こされる。また、パターン位置ズレは測定限界以下であった³⁾。(4)については、使用できるアライナーがごく限られているため、実用面から十分に評価がされているとは言えない状況である。しかしながら、アライメント精度を悪化させるのは、低透過率だけでなく、メンブレンの表裏面に生じる多重干渉も一要因であることが指摘されている⁴⁾。したがって、反射防止(AR)膜をメンブレン上にコートし、アライメント精度を向上させる必要がある。二酸化珪素、アルミナ、indium tin oxide などにより懸案の光学特性は大幅に向上するが、SR 光の照射によるパターン位置ずれが観測されている。材料の選択や成膜条件の最適化などにより、照射損傷の起きない AR 膜を開発することが大きな課題である。

3. X線吸収体

X線吸収体膜は、通常スパッター法により、メンブレン上、あるいは AR 膜上に形成される。吸収体膜中に形成される ULSI パターンは、様々な形や大きさであり、内部応力が存在すると、パターン形態に応じて不均一に応力が解放されて、やはりパターン位置ずれが生じる。X線吸収体膜に対する要求特性は、まず(1)応力フリーであり、次に(2)熱、時間、SR 光照射に対して応力変化がないことである。材料としては、高融点金属であるタンタル(Ta)かタングステン(W)に絞られてきた。どちらもドライエッチング特性が良く知られている材料である。0.15 μm 以下のパターン形成に際して、TaやWの粒界がパターンエッジを粗くすることが懸念され、粒界のないアモルファス材料である WN や Ta₄B

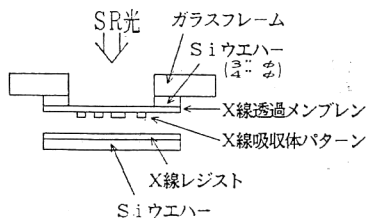


図1 X線マスク構成図

も検討されている。Ta系, W系共にSR照射に対して損傷を受けないことが報告されている^{5,6)}。今後熱および時間に対する応力安定性の、実際に即した条件下での詳細な評価が必要である。吸収体膜厚に関しては、X線透過部分と吸収部分との強度比が10以上となる0.8 μm くらいが望ましいとされてきたが、位相シフト効果を利用した高解像度化の検討がなされ、0.15 μm 以下の等間隔ラインパターンには0.3 μm 厚が最適であるという報告がなされた⁷⁾。

4. その他の技術の現況

パターン位置ずれは、SR損傷だけでなく、前述のように、マスク製作工程においても生じる。電子線描画、Siウェハ上の透過膜のメンブレン化、ガラスフレーム接着の3工程が、大きな位置ずれを生じるところとして知られている。電子線描画に関しては、描画領域を変えた二重露光により、40nm (3σ) にまで向上させたという報告がある⁸⁾。しかしながら最終製品として得られるマスクへの要求精度が30nm (3σ) でありまだまだ不十分である。パターン転写に用いるX線アライナーと共に、要求精度を満たすX線マスク描画装置の開発が急務になってきている。一方、メンブレン化、フレーム接着で生じる位置ずれは、これら両工程を、パターン描画の前にもってくれば、大幅に減らすことができる。早期の実証が待たれる。マスクの検査は、図形寸法が小さいため、電子線を用いて行う。欠陥の修正は集束イオン線を用いて行うが、装置は共に米国で完成しており、フィールドデータが収集されている⁹⁾。

5. む す び

X線マスクは、基礎的な研究段階から実用化を視野にいたれた総合的な評価段階へと進んできている。今後実

パイスの試作などを通して、高品質化、高信頼性が早期に達成されることを期待する。

文 献

- 1) Y. Yamaguchi, N. Annaka, T. Shoki, I. Amemiya, H. Nagasawa, H. Kosuga and O. Nagarekawa: "Properties of SiC films as X-ray mask membrane," *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.*, Vol. 306 (1993) pp. 197-210.
- 2) P. A. Seese, K. D. Cummings, D. J. Resnick, J. P. Wallace, G. M. Wells and A. W. Yanof: "Accelerated radiation damage testing of X-ray mask membrane materials," *SPIE Proc.*, **1924** (1993) 1924-1945.
- 3) T. Arakawa, H. Okuyama, Y. Yamashita, T. Ohta, R. Kumar, S. Noda and H. Hoga: "Improvement in radiation stability of SiN X-ray mask membranes," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **32** (1993) 5941-5946.
- 4) K. Koga, I. Higashikawa, T. Itoh, K. Araki, K. Fujita, J. Yasui and S. Aoki: "Evaluation of heterodyne alignment technique for X-ray steppers," *J. Vac. Sci. Technol.*, **B10** (1992) 3248-3251.
- 5) 岡田育夫, 金子隆司, 小田政利, 大久保高志, 小沢章: "X線マスク Ta 吸収体の照射耐性", 第40回応用物理学関係連合講演会, 29a-L-11 (1993).
- 6) H. Okuyama, Y. Yamashita, K. Marumoto, H. Yabe, Y. Matsui, Y. Yamaguchi, T. Shoki and H. Nagasawa: "SR irradiation stability of X-ray masks utilizing stress-free W-Ti absorbers and SiC membranes," *SPIE '94 Conf. in San Jose, Feb. 27-Mar. 4* (1994).
- 7) 浅野和夫, 島野裕樹, 尾崎禎彦: "SR 転写における X 線マスクの吸収体膜厚の最適化", 第41回応用物理学関係連合講演会, 29a-ZY-5 (1994).
- 8) S. Ohki, T. Matsuda and H. Yoshihara: "X-ray mask pattern accuracy improvement by superimposing multiple exposures using different field sizes," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **32** (1993) 5933-5940.
- 9) D. Stewart and T. Olson: "Focused ion beams for X-ray mask repair," *PhotoMask Japan '94 Conf. in Kanagawa, Apr. 22* (1994).

(1994年6月1日受理)