ガス注入型プラズマX線源

Hideo Yoshihara, Ikuo Okada, and Yasunao Saitoh

NTT LSI laboratories

Atsugi-Shi, Kanagawa Pref. TEL 0462-40-2601 FAX 0462-40-4324

(Received 17, November 1989)

(Accepted 16, January 1990)

Abstracts

A high brightness, compact plasma x-ray source for x-ray lithography employing a gas-puff z-pinch plasma is developed. This source is designed to direct the x-ray downward into the atmosphere by connecting a diode with a condenser bank through a parallel transmission line and to easily link to a conventional aligner. High x-ray output power is attained by high-repetition-rate discharge (3 Hz), developing a fast-acting gas valve. When pinched plasma is formed, the x-rays are emitted from the pinched columnar plasma region (20 mm in length and 2 mm in diameter). Axial x-ray exposure is achieved by a newly developed x-ray extraction method to reduce the blur in pattern replication caused by the penumbral effect. The x-rays are efficiently extracted through a window highly transparent to x-rays. With this x-ray source, 9-14 Å x-rays with 200 J per pulse (600 W average power) are obtained using Ne gas plasma in a 3 Hz operation. The x-rays through x-ray extraction window (15- μ m-thick Be) and x-ray mask (1- μ m-thick SiN) have a peak intensity at 12 Å wavelengths. The x-ray wavelength is longer than that of a conventional electron impact source. In addition, hard x-rays are not emitted by this plasma x-ray source. High contrast sufficient to replicate fine patterns can be obtained using a mask with a thin absorber, such as 0.4- μ m-thick Ta. A 0.2 μ m resist pattern can be easily replicated.

key words; plasma, x-ray, lithography, mask, pinch, Ta, SiN

1. 緒言

1972年にMITのSmithら(Ref.1)によってX線露光が提案され、その優れた微細パターン転写特性のため、多くの研究者の注目を集め、以来LSI製造に適用しようと精力的な研究活動が行われてきた(2-5)。

X線露光を実用的なものとするための課題の1つとしてスループットの向上が必要であり、X線源の出力増強とレジストの高感度化の検討が進められている。

従来、X線源としては、電子を加速して個体ターゲットに衝突させてX線を発生させる電子線励起形X線源が使用されてきた。しかし、X線変換効率が 10^{-4} と低く高出力化には限界があった。高温・高密度プラズマを利用するプラズマX線源のX線発生効率は電子線励起X線源に比べ2桁近く高いので、小型で強力なX線源が得られる可能性がある。

ここでは、著者らが開発したガス注入形プラズマX線源の現状を紹介し、転写特性についても報告する。

2. ガス注入型プラズマX線源

Fig.1にガス注入型プラズマX線源の原理を示す。真空中に対向した電極間に、高速開閉ガスバルブでガスを注入しガス塊を形成する。その直後に、電極に電圧を印加し、放電でプラズマを形成する。電極間に流れる電流の作る磁場により、プラズマをピンチさせてプラズマを高温・高密度化し、X線を発生させる。従来ガス注入プラズマX線源は、数十kJから数MJの大容量放電を利用していたが、大容量放電では、放電電極の消耗、電氣的ノイズの発生、等の問題が考えられる。そこで、小容量で放電繰り返しの速いX線源が露光に適すると考え、容量を5kJ以下とした。Fig.2は回路構成を示す。コンデンサ放電により放電プラズマを形成している。ガス注入と放電のタイミングは、遅延回路で高速開閉ガスバルブとスパークギャップスイッチの駆動時間を調整し制御している。

Fig.3に装置構成を示す。コンデンサに蓄えられたエネルギーはギャップスイッチと電送板を介

Fig.1 Principle of gas injection type plasma x-ray source.

Fig.2 Discharge circuit.

Fig.3 Schematic diagram of apparatus.

してプラズマ生成部に伝えられる。従来のアライナとの接続を容易にするように、電送板の採用によりX線を鉛直下方に取り出す構造としている。

Fig.4は放電時の電流波形とX線出力波形を示す。プラズマがピンチするとプラズマのインダクタンスが急激に変化するため、電流波形にへこみを生ずる。X線はプラズマがピンチし高密度プラズマが生成されると同時に発生しており、その時間はほぼ $0.3 \mu s$ である。

著者らは、プラズマX線源の各種パラメータを変化させ、プラズマX線源運転条件を最適化した。

Fig.5にピンチ時の電流とX線出力の関係を示す。X線出力は、X線が球対称に放射されると仮定し、X線検出器とレジスト露光結果から求めた。ピンチ時の電流の増加に伴い、X線出力は急激に増加する。このように放電電流を大きくすると、X線出力は増加するが、装置が大型化する。著者らは、放電電流を $300 kA$ 程度として放電繰り返しを速くすることで、X線出力を増加させ露光時間の短縮を図った。

3. 微細パタン転写特性

微細パタンを転写するためには、半影ぼけを小さくする必要がある。そこで、X線ピンホール写真で線源の大きさを調べた。

Fig.6は、X線ピンホール写真の一例であり、20回の放電を重ね撮りした結果である。(a)はX線ピンホール写真を放電電極中心の径方向に、(b)は軸方向に設置して撮影している。

(a)の写真から、X線は長さ $20 mm$ で径 $2 mm$ 程度の領域から放射されていることがわかる。このような円柱状の線源を用いて、線源の径方向で露光した場合、転写パタンに半影ぼけが生ずる。従って、微細パタンを転写するには、半影ぼけの小さいプラズマ軸方向で露光刷る必要がある。

Fig.7はスペクトル分光結果を示す。(a)のスペクトルが線源からの放射スペクトル分布で、(b)がX線取り出し窓 ($15 \mu m Be$) とX線マスク ($1 \mu m SiN$) を通過してレジスト上に照射されるX線スペクトル分布である。レジストに照射されるスペクトル分布と線源からの放射スペクトル分布を比べると、短波長成分が増加し、長波長成分が減少しており、波長 $12 \text{ \AA}$ のX線が最も強くなっている。

Fig.4 Characteristics of discharge current and x-ray output.
(a) discharge current
(b) x-ray output

Fig.5 Pinching current dependence of x-ray output.

Fig.6 X-ray pinhole photographs.
(a) radial direction
(b) axial direction

(a) Radiation x-ray spectra

(b) Be 15 μ m + SiN 1 μ m

Fig.7 X-ray spectra from plasma x-ray source and through Be and SiN films.

このように短波長成分のないX線スペクトルを用いたとき、マスクコントラストは薄いTa吸収体でも十分である。Fig.8にTa吸収体膜厚のコントラストに及ぼす影響を示す。

プラズマX線源で微細パターンを転写した時の結果をFig.9に示す。良好な0.2 μm パターンが得られている。

4. 結論

高温・高密度プラズマを利用するプラズマX線源は、大電流を使用するパルス放電のため、放電が不安定である、電極の消耗が激しいなどの問題があり実用に今まででなかったが、著者らはこれらの問題を解決しプラズマX線源を実用に一步近づけた。今後、信頼性の向上、小型化等を図ることにより実用的なリソグラフィ用X線源になると考える。

References

- 1) D.L.Spears and H.I.Smith, Electron. Lett., **8**, (1972) 102.
- 2) H.Yoshihara, S.Matsuo and T.Ono, Proceedings on the Symposium on Electron and Ion Beam Science and Technology (9th International Conference) **80-6**, (1980) 481.
- 3) T.Kaneko, M.Suzuki, A.Ozawa and T.Ohkubo, Extended Abstracts of the 17th Conference on Solid State Devices and Materials, Tokyo, 1985, p.353.
- 4) J.S.Pearlman and J.C.Riordan, J.Vac.Sci.Technol., **19**, (1981) 1190.
- 5) I.Okada, Y.Saitoh, S.Itabashi and H.Yoshihara, J.Vac.Sci.Technol., **B4**, (1986) 243.

Fig.8 Ta absorber thickness effect of mask contrast.

Fig.9 Replication resist pattern.