SOR リソグラフィ

正員 岡田 浩一 [日本電気(株)]
奥戸 雄二 [日本電気(株)]

1. はじめに

近年、半導体デバイスの設計ルールがサブミクロンの領域に入ってきている。量産ラインにおいて、リソグラフィが果たす役割は大きい。光の回折による解像度限界を克服するため、用いられる光源が短波長化してきている。0.6~0.7 μm 線幅領域では、水銀の g 線(波長 436 nm)や i 線(波長 365 nm)を用いた光学露光が主流と考えられている。それ以下の 0.4~0.5 μm までの線幅領域では、エキシマレーザ(例えば波長 248 nm の KrF)露光が有望視されている。0.5 μm より小さなサブハーフミクロン線幅領域では、SOR(シンクロトロン軌道放射光)リソグラフィが期待されている。

SOR リソグラフィは、0.5 μm より小さな線幅領域において、従来の光学露光にとって代わる最有力な一括露光方式の転写技術と考えられている⁽¹⁾⁽²⁾。リソグラフィとしては、波長 0.5~2 nm の軟X線を用いる。SOR の高強度・高平行性は、リソグラフィ技術としての高スループットおよび高解像性の期待を集めている。SOR リソグラフィの特長は、①0.2 μm 幅以下($\leq 0.2 \mu\text{m}$)の高解像性、② $\pm 10 \mu\text{m}$ の深い焦点深度(エキシマレーザでは $\pm 1 \mu\text{m}$ 以下)、③数 cm 角の広い露光領域、④プロセスの単純な単層レジストの使用などである。従って、1990 年代半ば以降に量産体制に入る 64 Mb、256 Mb 級大容量メモリなどの生産のための有力なリソグラフィ候補と位置付けられている。

1987 年 11 月 2 日~6 日に、アメリカ・アナハイムで開催された 34th National Symposium of the American Vacuum Society において、X-Ray Lithography with Synchrotron Radiation というセッションが設けられ、アメリカ、西ドイツおよび日本における SOR リソグラフィの最新情報が紹介された。西ド

イツでは、超小形 SOR 光源(COSY と呼称されている)、X 線マスクおよび X 線レジストを含めた一連の研究開発において、基本的見通しが得られていると報告された⁽³⁾。

アメリカでは、縦形のステッパ開発を含めたリソグラフィシステム検討が、NSLS(National Synchrotron Light Source)の SOR 光源(ブルックヘブン)を用いて行われている⁽⁴⁾。更に、X 線マスクに対する SOR 照射効果(ストレス、ディメンジョンの変化など)が、SRC(Synchrotron Radiation Center, ウィスコンシン大学)の SOR 光源(Aladdin)および SSRL(Stanford Synchrotron Radiation Laboratory)の SOR 光源を用いて、盛んに研究されている⁽⁵⁾。

日本では、現在超小形 SOR 線源の開発が盛んに行われている⁽⁶⁾。SOR リソグラフィ研究に用いられている SOR 光源として、電子技術総合研究所の TELLTERAS および高エネルギー物理学研究所の PF(Photon Factory, 放射光実験施設)がある。特に PF では、国内数社のリソグラフィビームラインが建設され、今後活発な研究開発が行われていくと思われる。

2. 研究の現状

2.1 露光システム

リソグラフィ専用ビームラインの開発が行われている。基礎研究用として、SRC⁽⁷⁾および SSRL⁽⁸⁾のビームラインがある。また日本でも、この分類に入るものが検討されている⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。主として、X 線マスクのダメージ、X 線レジストの特性、ミラーの特性などが検討されている。最近、真空破壊などの不意の事故に対処できるフェイルセーフ・システムを備えたビームラインの検討も報告されている⁽¹¹⁾。

高速一括転写方式の SOR リソグラフィシステムを構築するためのポイントが二つある。第一点は露光域拡大の方法である。SOR は水平方向には均一な強度を有しているが、垂直方向での均一強度域は極めて狭

SOR Lithography. By Koichi Okada, Member & Yuji Okuto, Non-member (Microelectronics Research Laboratories, NEC Corporation).

い。垂直方向の均一露光域拡大のために、三つの手法が検討されている。SOR 光源を回る電子の軌道を変動させるもの⁽¹²⁾⁽¹³⁾、振動ミラーを用いるもの⁽¹¹⁾⁽¹⁴⁾、またはマスクとウェーハを固定して同時に動かすもの⁽¹⁵⁾である。どの手法を選択するかは、ビームラインおよび露光用ステッパの構造に決定的影響を与える。第二のポイントとして、マスクのパターンをウェーハに転写する露光雰囲気を選択がある。SOR は水平方向に放射される光であるため、露光用ステッパはマスクとウェーハを縦形にした縦形のステッパを用いる必要がある。このとき、縦形のステッパを大気中、大気圧の He ガス中、減圧 He ガス中または真空中に設置するかである。ステッパのメカ系の信頼性、SOR の露光雰囲気での減衰、マスクの温度上昇、アライメント精度に対する影響、実用性、耐久性など様々の観点から検討する必要がある。

上記二つのポイントにかなりの影響を与える課題として、SOR 取出し窓がある。SOR 取出し窓としては、SOR の透過性および窓材として丈夫さなどの観点から通常、硬 X 線 (波長数 Å 以下) 用として、厚さ数百 μm の Be 窓が用いられる。Be が薄くなれば、それだけより波長の長い X 線が透過しやすくなるが、丈夫さは次第に減少していく。

露光用としては、波長域 0.5~2nm の軟 X 線を透過させる必要があるため数十 μm 以下の薄いものが要求される。また、露光領域に相当する大面積も必要である。Be 窓は超高真空ビームラインから、SOR を高圧 (大気圧) の露光雰囲気に取出すためのものであるから、十分な圧力耐性が必要である。このようなリソグラフィ用の SOR 取出し窓についての圧力耐性などについて詳細な検討が行われ始めた⁽¹⁶⁾。

リソ専用のビームライン開発⁽¹⁴⁾および縦形ステッパの試作⁽⁴⁾が、NSLS・SOR を用いて、アメリカ・IBM 社にて検討されている。18 μm 厚という薄い Be 窓を用い、減圧 He 中露光である。西ドイツでは、SOR リソグラフィ全般について、BESSY・SOR を用いて研究開発を進めてきているが、縦形ステッパについても 2 号機を開発した (カール・ズース社より市販)⁽¹⁵⁾。まっすぐなビームラインから SOR を大気中に取出し、露光のときにクランプされた状態のマスクとウェーハを垂直方向にスキャンさせるという方式を採用している。図 1 にステッパの写真を示す。大気中露光方式による SOR リソグラフィが幾つか検討されている⁽¹⁷⁾。図 2 に装置構成図を示す。PF のストレイジリングを用い、露光域拡大には振動ミラーを採用している。薄い Be 窓から大気圧の He チャンバを通して、大気中

図 1 SOR リソグラフィステッパ

図 2 大気中露光方式による SOR リソグラフィシステム構成図

に SOR を取出す。また、縦形アライナの開発も報告されている⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾。高精度の位置ずれ検出に 2 個の特殊な光学レンズを用いた「差動形リニア・フレネル・ゾーン・プレート (Linear Fresnel Zone Plate) 法」を用いており、DC モータとピエゾ素子を組合せたウェーハとマスクの駆動機構を用いて、0.01 μm レベルの高精度な位置決めを可能とした。三つの回折格子を用いた光ヘテロダイナ方式による位置ずれ検出手法によるアライメント装置が、電子技術総合研究所で検討されている⁽¹⁹⁾。

2.2 X線マスク

近い将来を考えた場合、実用化される SOR リソグラフィは、1 対 1 の近接露光方式 (40~50 μm のマスクとウェーハのギャップ) による転写技術となろう。 $\leq 0.2 \mu\text{m}$ の解像性を実用レベルで実現するための一つの大きな課題として、X線マスク技術がある。

X 線マスクは構造上、軟 X 線を透過させる厚さ数 μm 以内のメンブレイン、軟 X 線を透過させない (言換えると吸収する) パターン部となる吸収体パターン

および吸収体パターンを付けたメンブレインを支持する支持体から成る。メンブレイン材料として通常、Si、SiN、BN、SiCなどが用いられる。メンブレインにおける課題として、SOR照射によるひずみ（位置・寸法精度の変化）の発生が現在、最も関心を集めており、アメリカ、西ドイツなどで盛んに研究されている。吸収体パターンはSORによるマスクコントラストを得るためには、 $0.6\sim 0.7\mu\text{m}$ の厚さが必要であり、また幅としては $0.2\mu\text{m}$ 以下の加工精度が必要である。Au、Ta、Wなどの重金属が通常、吸収体パターン材料として使われる。上記の微細パターンを形成加工することに加えて、吸収体パターン膜の応力を低く制御することが課題である。メンブレインのひずみへの影響を抑えるため、 10^8 dyn/cm^2 台の低いレベルより小さな応力に制御することが目標とされている。

X線マスク技術の動向をマスクメンブレイン、吸収体パターンの順に述べる。マスクメンブレインに対する照射ダメージに強い関心が集まっている。最初、減圧CVD法で作製した水素を含有したBN膜について報告された⁽²⁰⁾。その結果によると、酸素を含んだ雰囲気中でのBN膜への軟X線照射によって表面に何か物質が形成され、膜の光学的透過率が低下し、膜の引張り応力（メンブレインを支持体にピンと張るための応力）が減少し、パターンの位置ずれが生じることがわかった。更にストレスの変化に対して、膜中の水素が影響していると指摘された。SSRLではBN、Si、SiNメンブレインについて、SORを照射してダメージを調べた⁽²¹⁾。その結果によると、CVD法によって作製したBN膜は顕著な光学的および機械的特性の変化を示した（ 200 kJ/cm^2 オーダの吸収後に）。けれども、熱分解法によって作製したBN膜、減圧CVD法で作製したSiN膜およびSi膜はSOR照射による特性劣化を示さなかった。最近、減圧CVD法で作製したBN膜に、高温アニール（ $\sim 1,100^\circ\text{C}$ ）を加えて膜中の水素を除去する試みが、AT & T Bell 研とWisconsin 大学においてなされている。それによると、水素を除去したBN膜はSOR照射に対して機械的に安定であることがわかった⁽²²⁾。

現在、マスクメンブレインとしてSi、SiN、BNおよびSiCが主として検討されている。単結晶Siを用いた場合、SOR照射の影響は全くないとの報告が、IMT (Fraunhofer-Institute für Mikrostrukturtechnik, 西ドイツ) からなされている⁽²⁾。将来的には、高ヤング率と高光透過性からSiCが有望としている。他の報告では、反応ガスとしてジクロロジメチルシラン $((\text{CH}_3)_2\text{SiCl}_2)$ をベースとしたCVD法によって、SiC

膜がPhilips (西ドイツ) で検討されている⁽²³⁾。

吸収体パターンについては、前述のように加工性とストレス制御の観点がある。従来、電解メッキ法によるAuが用いられてきた。電解メッキ法によるAuパターンのストレス制御の容易性は、広く認められていると言ってよいだろう。ただし、メッキ法の欠点は微細なAuのパターンを得るための型（鋳型）が必要など工程が多いことである。しかし、メッキ法は依然として根強く検討され続けている。IMT、IBMなどでは、電解メッキ法によって形成したAuパターンを吸収体パターンとして検討している⁽²⁾⁽²⁴⁾。

IMTでは、電解メッキ法によって鉛パターンの検討も行っている。 $0.2\mu\text{m}$ 幅、 $1.5\mu\text{m}$ 厚のパターンを形成した⁽²⁵⁾。

もう一つの吸収体パターン形成法として、ドライエッチングを用いて金属膜吸収体パターンを形成する方法がある。吸収体パターン用の金属薄膜をメンブレイン上に形成して、金属膜上に塗布したレジストに微細パターンを形成する。この微細レジストパターンをマスクとし、ドライエッチングによって金属パターンを形成する。本手法を用いて、W、Taなどの吸収体パターン形成が検討されている。エッチング手法を用いるとX線マスク作製の工程を減らすことができる。課題はストレスの制御である。一般に、W、Taなどのストレスは 10^9 dyn/cm^2 台のレベルより大きく、また低い値に再現性良く制御することがかなり難しい。Philipsでは、Wパターンについて検討している。酸素ガスをアルゴンガスに添加したスパッタガスを用いて $0.8\mu\text{m}$ 厚のW膜を形成し、更に酸素雰囲気中アニールをして 10^8 dyn/cm^2 より小さなストレスを得た。膜組成は W_3O となっている⁽²⁶⁾。rfスパッタリング法でアモルファス WN_x ($x=0.1$)を形成し、イオン衝撃法により N^+ イオンを照射して、 WN_x 膜のストレスを低減化するとの報告が、電子技術総合研究所からなされている⁽²⁷⁾。

X線マスクにおける将来的課題として、マスクの欠陥検査・修正技術がある。IMTでは、Siマスクメンブレイン上に形成した電解メッキAu吸収体パターンにおいて、余分な吸収体が存在する場合の除去について、収束イオンビーム修正法を検討している⁽²⁸⁾。また、吸収体の抜けの修正について、レーザ励起金属堆積法を検討している⁽²⁹⁾。欠陥検査に関しては、電子ビーム欠陥検査技術の検討が三菱電機から報告されている。ダイとダイを比較する手法によって欠陥検査を行う⁽³⁰⁾。

2.3 デバイス・プロセス

ノボラックをベースとした高感度なポジ形X線レジストが開発された。高感度を達成するために、化学増幅 (chemical amplification) の考え方が採り入れられた。従来のノボラック樹脂と溶解抑制剤に加えて開始剤を入れた。溶解抑制剤はX線に対して感応しない。開始剤はX線照射によって酸を発生する。この酸が溶解抑制剤の分解を促進し、そして抑制剤の分解はノボラックの溶解性を増加させる。結果として、SOR 露光によって $<50 \text{ mJ/cm}^2$ の高感度および $0.3 \mu\text{m}$ の解像度を得ている⁽³¹⁾。

SOR を用いたデバイス試作が試みられ始めている。BESSY リングを用いたデバイス試作が、西ドイツにおいて試みられている。GaAs-MESFET が試作された。 $<0.5 \mu\text{m}$ の T-gate 形成に SOR 露光を用いた⁽³²⁾。また、 $0.5 \mu\text{m}$ MOSFET が試作された。Poly-Si gate 形成に SOR 露光を適用した⁽³³⁾。

3. 今後の方向

3.1 SOR リソグラフィシステム

現在、実用的 SOR リソグラフィシステムについての開発が西ドイツ、アメリカ、日本を中心として行われている。最大のポイントは超小形 SOR 光源の開発である。リソ専用の超小形 SOR 光源開発をめぐる、西ドイツの COSY-Micro Tec 社、日本の住友電工⁽³⁴⁾、住友重機⁽³⁵⁾、古河電工⁽³⁶⁾などが各々の開発戦略を展開している。SOR リソグラフィを強力に推し進めるための一つの判断基準として、超小形 SOR 光源開発達成見通しを考えればよいであろう。すなわち、直径数メートル程度の超小形 SOR 光源において、数百 mA の電流蓄積達成あるいは達成見込みが得られたときが、SOR リソグラフィの実用化に向けての一大転機となるとの考え方である。また、2.1 節で述べたリソ専用ビームライン、縦形 SOR ステップにも残された課題は多い。

3.2 総合アライメント精度

SOR リソグラフィをデバイス作製に適用していくために、今後、総合アライメント精度を丁寧に検討していく必要がある。すなわち、縦形 SOR ステップ自体の有するアライメント精度、X線マスクのひずみ (位置・寸法精度の変化)、X線マスク間のアライメント精度、ウェーハのひずみ (そり・変形など) などの主要因をそれぞれ詳細に検討する必要がある。これら個々の要因を低減する努力・工夫をすると共に、これらすべてを含めた総合アライメント精度を、デバイス作製を含めた形で、評価・検討していくことが肝要で

ある。

3.3 デバイス作製

第1章の冒頭で述べたように、SOR リソグラフィは解像性はもちろんのこと、他のリソグラフィにない優れた特長を有している。これらの特長を生かしたデバイスを試作していくことが、今後の重要な仕事である。

本年度、アメリカ Fort Lauderdale, Florida に於いて開催された The 32nd International Symposium on Electron, Ion and Photon Beams (5月31日～6月3日) の X-Ray Technology のセッションにおいて、IBM が SOR リソグラフィによるデバイス試作を発表した (late news 発表)。 $0.5 \mu\text{m}$ ルールの NMOS について、8 レベルすべて SOR リソグラフィを適用した。NSLS リングの自社専用ビームライン (縦形 SR ステップも設置) を用いた。X線マスクは Si メンブレインと電解メッキ法による Au 吸収体パターンから成る。

3.4 X線マスク技術

X線マスク技術は MIT の Smith 教授がX線リソグラフィを提唱して以来、最も多く研究テーマとして取上げられてきた課題である。しかし、2.2 節で述べたように、SOR リソグラフィ用 X線マスクを考えた場合、解決しなければならない重要な課題が残されている。今後、SOR リソグラフィの実用化の期待が高まるにつれ、高精度X線マスク技術の確立が必要となる。このとき、以下の二点が重要であると考えられる。

第1点は基礎的観点の重視である。X線マスクの位置・寸法精度の精密な評価・検討が必要である。従来の評価から一步突っ込んだ研究、すなわち物理、化学の学問的観点からの研究が必要である。例えば、X線マスクメンブレインの SOR 照射耐性、W, Ta 吸収体のストレス制御などのテーマが該当する。第2点はX線マスクの規格統一である。材料については、現時点では統一は難しいと思われるが、少なくともサイズ、形などの規格統一から検討すればよいであろう。一部で既にその声が上がっている。

3.5 X線レジスト

SOR の出現によって、X線レジストの感度に対する要請は緩和されたが、SOR リソグラフィの実用化を考えた場合、X線レジストの開発は欠かすことはできない。 $\leq 0.2 \mu\text{m}$ レベルの解像性と十分なドライエッチング耐性が必要である。また、感度も $<100 \text{ mJ/cm}^2$ の高感度が要求される。ポジレジスト、ネガレジストとも一層の開発が肝要である。また、非膨潤形のレジストであることも重要である。

4. ま と め

冒頭で述べたように、ハーフサブマイクロ線幅領域の量産向きパターン一括転写技術として、SORリソグラフィが期待されている。現在、超小形 SOR 光源、リソ専用ビームライン、縦形 SOR ステッパ、X線マスク、X線レジストなどの研究開発課題に対して各所で検討されているが、実用のためには解決されなければならない課題も多い。超小形 SOR 光源の開発が達成されることが必要と考えられ、また高精度X線マスク技術の成熟が要求されよう。更に、縦形 SOR ステッパを含めた SOR リソグラフィシステムを用いた総合アライメント精度に対する、着実なデータの積み重ねも重要と考えられる。ここには、実用的X線レジストの開発、評価を含めたプロセス検討、デバイス作製検討も含まれる。(昭和63年7月20日受付)

文 献

- (1) R.P. Haelbich, J.P. Silverman & J.M. Warlaumont: "Synchrotron Radiation X-Ray Lithography", *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res.*, **222**, 291 (1984)
- (2) A. Heuberger: "X-Ray Lithography", *J. Vac. Sci. Technol.*, **B6**(1), 107 (1988)
- (3) H. Betz: "Synchrotron Lithography in Germany", *ibid.*, **A6**(3), 1618 (1988)
- (4) N. Bobroff, R. Tibbetts, J. Wilczynski & A. Wilson: "An Optical Alignment Microscope for X-Ray Lithography", *ibid.*, **B4**(1), 285 (1986)
- (5) 例えば, P.L. King, et al.: "Radiation Damage in Boron Nitride X-Ray Lithography Masks", *ibid.*, **B6**(1), 162 (1988)
- (6) K. Okada: "Japanese Programs and Facilities for Synchrotron Radiation Lithography and Problems Related to Resist", *ibid.*, **A6**(3), 1611 (1988)
- (7) G.M. Wells, B. Lai, D. So, R. Redaelli & F. Cerrina: "X-Ray Lithography Beamlines at Aladdin", *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res.*, **A266**, 278 (1988)
- (8) L. Pan, P.L. King, P. Pianetta, D. Seligson & T.W. Barbee Jr.: "Synchrotron-Based X-Ray Lithography at Stanford University", *ibid.*, **A266**, 287 (1988)
- (9) 山崎・小林: 「SOR 露光用ビームラインの衝撃波遅延管の試作(1)」, 第35回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, p. 573 (昭 63)
- (10) 田口・岡村・後藤・本荘・奥山・久継: 「SR露光用ビームラインの構成」, 同上, p. 574 (昭 63)
- (11) K. Okada, K. Fujii, Y. Kawase & M. Nagano: "Development of Highly Reliable Synchrotron Radiation Lithography Beamline", *J. Vac. Sci. Technol.*, **B6**(1), 191 (1988)
- (12) H. Betz & G. Mulhaupt: "Possibility of Enlarging X-Ray Exposure Area with X-Ray Mirror or by Electron Beam Vertical Motion", *Proc. SPIE*, **448**, 83 (1984)
- (13) T. Tomimasu: "An Electron Undulating Ring Dedicated to VLSI Lithography", *Jpn. J. Appl. Phys.*, **26**, 741 (1987)
- (14) J.P. Silverman, R.P. Haelbich, W.D. Grobman & J.M. Warlaumont: "X-Ray Lithography Exposures Using Synchrotron Radiation", *Proc. SPIE*, **393**, 99 (1983)
- (15) P. Thompson, E. Cullman, W. Vach, & K.H. Mler: "A Synchrotron Compatible Production Oriented X-Ray Stepper", *Microelectronic Engineering*, **6**, 293 (1987)
- (16) E. Nomura & K. Okada: "A Thin Beryllium Window Feasibility Test for Synchrotron Radiation Lithography", *Digest 1st Microprocess Conf.*, p. 90 (1988)
- (17) 岡田・河野: 「大気露光方式のSRリソグラフィ基礎技術」, 電子材料, p. 87 (昭 63-1)
- (18) 河野・田中・岩田・田崎・柿木・鈴木・野村・藤井・岡田: 「大気中露光シンクロトロン放射光アライナの開発」, 第35回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, p. 575 (昭 63)
- (19) J. Itoh, T. Kanayama, N. Atoda, & K. Hoh: "An Alignment System for Synchrotron Radiation X-Ray Lithography", *J. Vac. Sci. Technol.*, **B6**(1), 409 (1988)
- (20) W.A. Johnson, R.A. Levy, D.J. Resnick, T.E. Saunders, A.W. Yanof, H. Betz, H. Huber & H. Oertel: "Radiation Damage Effects in Boron Nitride Mask Membranes Subjected to X-Ray Exposures", *ibid.*, **B5**(1), 257 (1987)
- (21) P. King, L. Pan, P. Pianetta, A. Shimkunas, P. Mauger, & D. Seligson: "X-Ray Induced Damage in Boron Nitride, Silicon and Silicon Nitride Lithography Masks", *Proc. SPIE*, **773**, 126 (1987)
- (22) R.A. Levy, D.J. Resnick, R.C. Frye, A.W. Yanof, G.M. Wells & F. Cerrina: "An Improved Boron Nitride Technology for Synchrotron X-Ray Masks", *J. Vac. Sci. Technol.*, **B6**(1), 154 (1988)
- (23) H. Lthje, B. Metthiesen, M. Harms, & A. Bruns: "Status and Prospects of SiC-Masks for Synchrotron Based X-Ray Lithography", *Proc. SPIE*, **773**, 15 (1987)
- (24) R.E. Acosta, J.R. Maldonado, L.K. Towart & J.M. Warlaumont: "B-Si Masks for Storage Ring X-Ray Lithography", *ibid.*, **448**, 114 (1984)
- (25) J. Trube, H.-L. Huber, B. Lchel, & W. Windbracke: "Application of Lead Electroplating for X-Ray Absorber Patterning", *Microelectronic Engineering*, **6**, 247 (1987)
- (26) H. Lthje, M. Harms, A. Bruns & U. Mackens: "Improved Tungsten Absorber Technology for Sub-Half-Micron X-Ray Lithography", *ibid.*, **9**, 259 (1987)
- (27) T. Kanayama, M. Sugawara, & J. Itoh: "Reduction in X-Ray Mask Distortion Using Amorphous WN₂ Absorber Stress Compensated with Ion Bombardment", *J. Vac. Sci. Technol.*, **B6**(1), 174 (1988)
- (28) U. Weigmann, H. Burghause, & H. Schaffer: "Identification and Removal of Opaque Defects on X-Ray Masks in a Focused Ion Beam Repair System", *Microelectronic Engineering*, **6**, 617 (1987)
- (29) H.-C. Petzold, R. Putzar, U. Weigmann, & I. Wilke: "Repair of Clear X-Ray Mask Defects by Laser-Induced Metal Deposition", *ibid.*, **6**, 623 (1987)
- (30) S. Takeuchi, K. Morizumi, K. Saitoh, N. Yoshioka, & T. Kato: "Electron-Beam Inspection Technology for X-Ray Masks", *J. Vac. Sci. Technol.*, **B6**(1), 146 (1988)
- (31) K.-F. Dssel, H.L. Huber, & H. Oertel: "Highly-Sensitive Novolak-Based Positive X-Ray Resist", *Microelectronic Engineering*, **5**, 97 (1986)
- (32) J. Hersener, E. Piper, A. Wilhelm & G. Birkenstock: "Application of X-Ray Lithography for Manufacturing a Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor Tetrode", *J. Vac. Sci. Technol.*, **B5**(1), 253 (1987)
- (33) V. Lauer, F. Bauer, J. Korec, H.-L. Huber, & P. Balk: "Fabrication of Halfmicron MOSFETs by means of X-Ray Lithography", *Microelectronic Engineering*, **6**, 251 (1987)
- (34) H. Takada, K. Furukawa, & T. Tomimasu: "Development of Compact Synchrotron Radiation Ring for X-Ray Lithography", *Proc. SPIE*, **773**, 257 (1987)
- (35) N. Takahashi: "Compact Superconducting SR Ring for X-Ray Lithography", *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res.*, **B24/25**, 425 (1987)
- (36) T. Shimano, M. Ikeda, E. Shiba, S. Mukoyama, A. Yamamoto, K. Tsuchiya, M. Takasaki, & H. Hirabayashi: "Design Study of a Superconducting SOR Facility", *Proc. Particle Accelerator Conf. (IEEE, New York)*, p. 434 (1987)