

微細加工・計測技術開発

中村 一光⁽¹⁾ 森本 達郎⁽¹⁾ 久保田 弘⁽²⁾ 中田 明良⁽²⁾ 赤道 孝之⁽²⁾ 井口 恒夫⁽³⁾
占部 憲治⁽³⁾ 小坂 光二⁽⁴⁾ 小坂 哲也⁽⁴⁾ 馬場 哲朗⁽⁴⁾ 藤井 敏夫⁽⁵⁾ 相川 創⁽⁵⁾
高山 由則⁽⁶⁾ 鈴木 信二⁽⁷⁾ 若杉 雄彦⁽⁸⁾ 中村 博文⁽⁹⁾

1. 初めに

携帯電話やデジタルテレビ等に代表される情報通信を含め、広く電子機器産業の進歩は半導体や記憶装置など微細加工技術に負うところがきわめて大きいことは良く知られている。従来このような電子機器産業はいわゆる大量生産に支えられてきたが、最近は少量多品種生産に変化してきたと同時に個々の製品寿命も短くなってきている。その代表的な例が携帯電話であり、製品寿命は一般的に半年から1年と言われている。この理由は種々有るだろうが、デジタル化の進展に伴い、電子機器のユーザーにおける専門家と一般ユーザーの垣根が無くなりつつある事が一因ではないだろうか。このような社会的背景から今後益々社会あるいは大衆の要求に如何に素早く応えるか、即ち時間を金で買う傾向が強くなって来ると考えられる。電子機器産業においては、このような社会の要求に対応するために、開発・生産する製品のみならず、企業そのものも迅速に変わって行かねばならず従来から有る、“老舗”と言う概念が無くなりつつある様だ。

このような電子機器産業の背景の下、半導体あるいはプリント配線板を如何に速く・安価に・手軽に製作するかと言う要求から“レチクルフリー直接露光技術”の開発と実用化に取り組んできた。

2. レチクルフリー直接露光技術

プリント配線板あるいは半導体集積回路における一般的なパターン形成手順を図1に示す。図1において、上に示した帯グラフが従

来方式によりプリント基板や集積回路を作成する場合で、設計時間は不確定であるが、その後の製造行程においては、マスク製作の時間が非常に大きな割合を占めている。⁽¹⁾ マスク製作に要する時間は短くて数日、マスクメーカーの生産状態によっては、何日も費やされる。マスク製作時間に占める大きな要素は、図1の最上部に模式的に示したが、マスクの描画時間と、出来上がったマスクの寸法・パターンなどの検査時間である。しかもこれらの工程に必要な装置は一台当たり数億円と非常に高額であるため、マスク(レチクル)の製造販売は国の内外を問わず一部のメーカーの寡占状態にある。従って大口ユーザーに対しては、即納体制であるが、小口ユーザーは何日も待たされることもあり得る。又マスク(レチクル)そのもの一枚当たり、数十万円から数百万円ときわめて高額である。一旦設計・製作したマスクが意図した通りに一回で完成すれば良いが、設計変更や修正が伴えば、再度マスクを製作しなければならず時間とコストが一段とかかる。このような従来技術の問題点を解決する手段が“レチクルフリー直接露光技術”である。マスクを用いない露光技術に関しては既に幾つか報告がなされている。⁽²⁾⁽³⁾

本技術の本質は、回路パターンをいわゆる液晶(LCD)上に生成し、そのコピーを半導体集積回路あるいはプリント配線板上に転写することにある。従って、図1に示した“マスク製作”の工程が不要で、それだけ製作時間もコストも低減することが可能である。本技

術を採用した露光技術の相関関係を図2に示す。何れの露光方式においても中核をなす技術は、設計データを変換してLCD上にパターンを生成する技術と、次に述べる画素を繋いで繰り返し露光することである。図2下部に示した“近接露光装置”はLCDのパターンを基板上に重ねて転写する方式で、装置が簡単である一方解像力が比較的低い。“1:1投影露光装置”は解像度も比較的高いが装置も大がかりとなる。“縮小投影露光”は従来からあるステッパーにLCDを適用し、最も解像度が高いが、ステッパーが必要となる。各々の装置・技術に関しては後に詳しく述べる。

2.1 データ作成と繋ぎ露光

露光データの作成手順を図3に示す。図3において、設計データは一般的にCAD(Computer Aided Design)システムを用いて作成する。CADの出力形式は業界標準があり、このデータをLCDの為にドットマトリクスに変換する。CAD出力をドットマトリクスに変換する為の、“フォーマット変換プログラム”は当プロジェクトで独自に開発した。CADと制御コンピューターは電氣的に接続されており、オンラインでデータ転送が可能である。当初マトリクスドットの大きさはLCDの1画素に対応していたが、その後汎用性と拡張性を考慮して、任意サイズとすることが可能となった。

次に図4により、繋ぎ露光について述べる。LCDは通常画素と呼ばれる情報単位が縦横にそれぞれ1,000~2,000配列され、その画素(ピクセル)毎に明るさや色が変化することにより任意図形を表示するわけであるが、画素の周辺部にはブラックマトリクスと称する障子の棧の様な部分があり、そのブラックマトリクスに囲まれた部分が、実際にデータによって輝度が変化する、開口部(アクティブエ

リア)と称する部分である。従って、LCD上の図形をそのまま転写すると、隙間が空いた点の集合になる。図4は此の解決方法を示しているが、図4左側が設計データである。今仮に、画素に対する開口部の寸法が1/2(面積で1/4)とすると、右側の4枚のデータがそれぞれの開口部位置に対応したデータであり、この4枚のデータを繋ぎ合わせることでより左側下部のデータ即ち左側上部の設計データと同一のパターンが形成されることになる。この場合、画素に対する開口部の位置は固定であるから、#1のパターンを露光した後、露光対象基盤が載置されたステージを開口サイズに等しく移動させた後、#2を露光する。このようにして、露光とステージ移動を各々4回ずつ実行することにより所望のパターンが形成される。

2.2 露光装置と露光結果

“レチクルフリー直接露光装置”のファミリーを模式的に図2に示したが、最も簡便なシステムが図2下部に示した近接露光装置である。この装置は平成13年度に文部科学省から支援を頂き、プリント基板製作用に、プロキシミティ露光装置を開発・製作して検討と性能評価を行った。(4)(5)

この装置の外観と露光結果をそれぞれ図5、図6に示す。図5に於いて、解像度を向上する目的からは、LCDと露光対象物はできる限り密着させることが望ましい。しかしながら、図5右に一例を示したLCDはその上下に偏光板と保護ガラスを有しているため、実質的にはLCDと露光対象基盤の距離は数百マイクロンになってしまい、それだけ解像度が劣化することになる。図5の装置においてはアライメントスコープと露光光源をいずれか一方がLCD上に位置する方式にした。ステージには熊本県地域結集型共同研究プロジェクトで開

発した超音波駆動方式を採用した。露光結果を図6に示したが、“レチクルフリー直接露光装置”の大きな特徴であり、利点は、設計からパターン形成まで、マニュアルアシストを経ずにオンラインで直接実行できることにある。レジストはポジ型であり、露光部分が溶解して無くなっている。図6の右側と左側は“白黒反転”の関係にあるが、同一の露光データでLCDの極性を変えることにより簡単に変更可能である。この場合の解像度は約30 μ m、且つ5インチ基板の露光時間に約10分を要した。

図7に1:1投影露光装置を、又その露光結果を図8に示す。先に述べたように、近接露光装置のひとつの大きな問題点は、LCDと露光対象基盤の間隔を接近させる事ができないために、解像度が劣化することである。今回開発した装置は、経済産業省による、平成14年度、地域新生コンソーシアム研究開発事業によって開発・製作を行った。

この装置の大きさは、高さ約2.2m、幅約1.2m、奥行き約1.4m、である。光源には水銀ランプを使用し、フィルターによって、g-線、h-線、両方を選択している。投影系には1:1のレンズを搭載しており、LCDの像生成面をプリント基板上に高精度に結像することが可能である。このレンズの特徴は、h、g、i、複数波長光が高精度にフォーカスする点にある。

ステージは、X、Y、Z、 θ と4軸を有し、最大搭載基板サイズは、340mm x 340mmである。X、Y、 θ の3軸は、図5の装置同様、熊本県地域結集型共同研究事業で開発された超音波駆動方式を採用している。図5、図7何れの装置にもステージに超音波駆動方式を採用した理由の一つは図4に示したように、ステージの微少送りを高精度に実施する必要があるためである。Z軸はマニュアル駆動であり、プリント基板が種類によって厚さが

大きく異なるため、調整可能とした。ステージ最上部には真空チャックが有り、プリント基板を固定する。ステージの直上には、待避可能なアライメントスコープを設置し、ステージの原点確認と重ね露光する際の基板の位置検出を行う。アライメントスコープは双眼で露光時にはエアシリンダーを駆動させて待避する。このアライメントスコープでLCDに生成されたアライメントマークの検出を行う場合には、ステージ上に固定されたミラーを用い、露光光を使用して実行される。LCDステージ上に固定されたLCDはLCDが寿命等で破損するまで位置調整を実行することはない。

使用したLCDの画素に対する開口部の大きさは、23 μ m角に対して11.5 μ m角であり、開口率は25%である。

露光結果の一例を図8に示すが、上部がSEMによる写真、下部が光学顕微鏡による写真である。プリント基板上の25ミクロン厚のドライフィルムレジストにパターンを形成した。ネガ型であるため、レジストが残っている部分を露光しており、プリント配線板の銅箔が露出している部分は未露光部である。この場合一回の露光に要する時間は約1分であり、従って、図4に示すように4回露光によってパターン形成される為には約4分を要した。

2.3 ステッパーへの適用

平成13年から14年に掛けて、LCDとg-線ステッパーを組み合わせた縮小投影パターン形成技術の可能性と露光品質を検討し、LCDのブラックマトリクスを利用すると1 μ mのパターンの解像も可能であり、形成されたレジストパターンの品質も良好で、従来からあるクロムレチクルの代わりにLCDを用いても、充分実用に適用しうる事を検証した。

(6)(7)(8)

この技術を発展させて、LCDとステッパー

用アライメントマークを組み合わせることに
より、集積回路の全層を“レチクルフリー直接
露光技術”で露光することを試みた。ニコン
製g-線ステッパーのアライメントマークを
付けたマスクにLCDを接着した状態を図9
に示す。このLCD付きマスクを“ユニバー
サルレチクル”と名付けた。図5,図7に示
した装置では、LCDの周辺部にアライメント
マークを生成させて、露光対象基盤上のマーク
との相対位置を検出しているが、商用ステッパ
ーの場合にはアライメントマーク位置がいわ
ゆるレチクルの固定位置に存在するため、この
技術が適用できず、やむを得ず接着することに
した。実際に露光と半導体製作プロセスの適
用例を図11に示す。図11のウェーハは
ICのアクティブエリア作成後にゲートパター
ンを露光したものである。図11右下が拡大
写真でゲート幅は約4ミクロンである。

2.4 解像度の向上

通常1:1の投影“レチクルフリー直接露光
装置”を用いてパターンを形成する場合、LCD
の開口部の大きさがそのまま露光対象基盤
に反映されて、分解能は開口部の大きさで決定
される。当初データ変換論理を単純化するため、
ピクセルサイズと装置のアドレス単位を等
しくした。この状態が、図12(a)である。
従って同図にあるように、23 μm の段差が発生
していた。その後、プログラムを順次改良し、
アドレス単位を開口部の大きさに等しくし、
この結果、図形段差は、11.5 μm になり、滑ら
かになった。それをさらに改良し、アドレス
単位を任意とした。図12(c)は開口部の
半分の大きさ、即ち5.75 μm のアドレスサイズ
で露光した結果である。この場合、予めレジ
ストの感度特性を測定し、開口毎の階調制御を
することにより、露光領域全体で均一なレジ
スト膜厚になるように制御している。

4.まとめ

今回開発した“レチクルフリー直接露光装
置”ファミリーの性能・仕様を表1にまとめて
示めす。

光源は1kWの水銀ランプを使用して、照度
120mW/cm²が得られ、340mm角の基板を約
3分で露光することを目標にしているが、現状
その約10倍を要している。最小加工寸法は
目標約10 μm であるが、先に述べたアドレス単
位と露光の階調制御を組み合わせることによ
り、より小さなサイズのパターン形成が可能と
考えられる。

今まで議論してきたように、今回提案する
“レチクルフリー直接露光技術”は少量多品種
のプリント基板の製作や、一般的なプリント基
板の開発に適用できると考えられ、しかも
10 μm の解像度は、今後数年間実用に耐え得る
と考えられる。

今後の課題としては以下の点があげられる。

- (1) スループット向上
- (2) レジストプロセスの汎用化
- (3) マーク検出の汎用性向上
- (4) 高解像度化

特に解像度に関しては、レジストプロセスの最
適化、LCD開口部のより微細化、LCD材料
の短波長適用等多くのことが考えられる。

最後に本技術の開発に当たり、ご支援頂いて
いる、科学技術振興機構、文部科学省、経済産
業省に深く感謝の意を表する。

参考文献

- (1) 田辺 功、竹花 洋一、法元 盛久、“超
LSI、液晶、プリント板を支えるフォトマ
スク技術の話”、第2章フォトマスク製造
の基本技術、工業調査会(1996)
- (2) T. Horiuchi, T. Miyakawa, and S. Hosoda,

- “A New Projection Exposure Method Using a Liquid Crystal Display as a Switching Matrix in place of a Reticle,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, **Vol. 39**, 324(2000)
- (3) U. Ljungblad, T. Sandstrom, H. Buhre, P. Durr, and H. Lakner, “New Architecture for Laser Pattern Generators for 130nm and Beyond”, *BACUS News*, **Vol. 15**(Apr. 2001)
- (4) 森本達郎他、2003 年電子情報通信学会総合大会、
- (5) 赤道孝之他、第 50 回応用物理学関係連合講演会予稿集 NO.2, 763(2003)
- (6) K. Nakamura, H. Kubota, A. Nakada, T. Inokuchi, and K. Kosaka, “Development of Reticle-Free Exposure Method with LCD Projection Image”, *SPIE*, **Vol.4754**, 737(2002)
- (7) 赤道孝之他、第 63 回応用物理学学会学術講演会予稿集 NO.2,635(2002)
- (8) T. Morimoto, K. Nakamura, H. Kubota, A. Nakada, T. Akamichi, T. Inokuchi, K. Urabe, and K. Kosaka, “Arbitrary Pattern Fabrication by means of Reticle-Free Exposure Method with LCD”, *Proceedings of Photomask Japan 2003*, 211(2003)

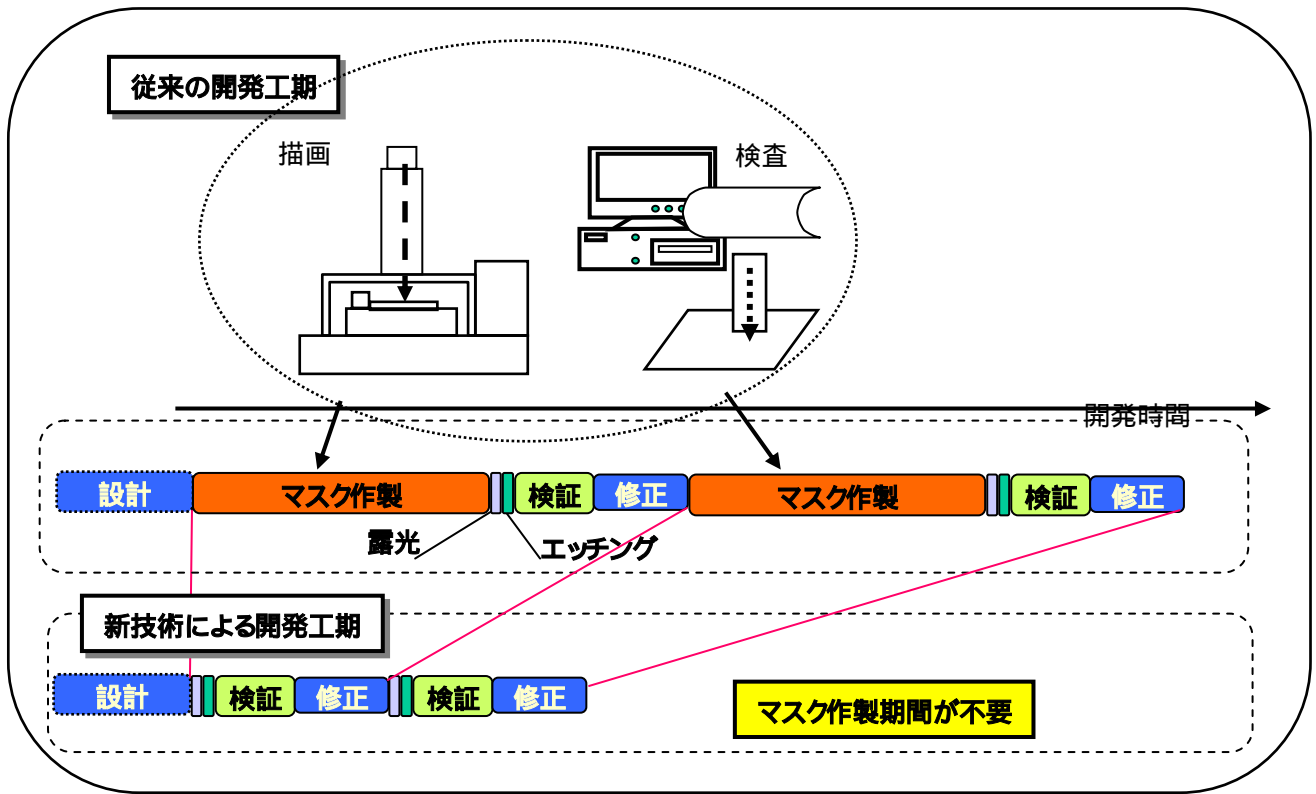


図1. レチクルフリー直接露光技術による回路作成時間短縮化のスキーム

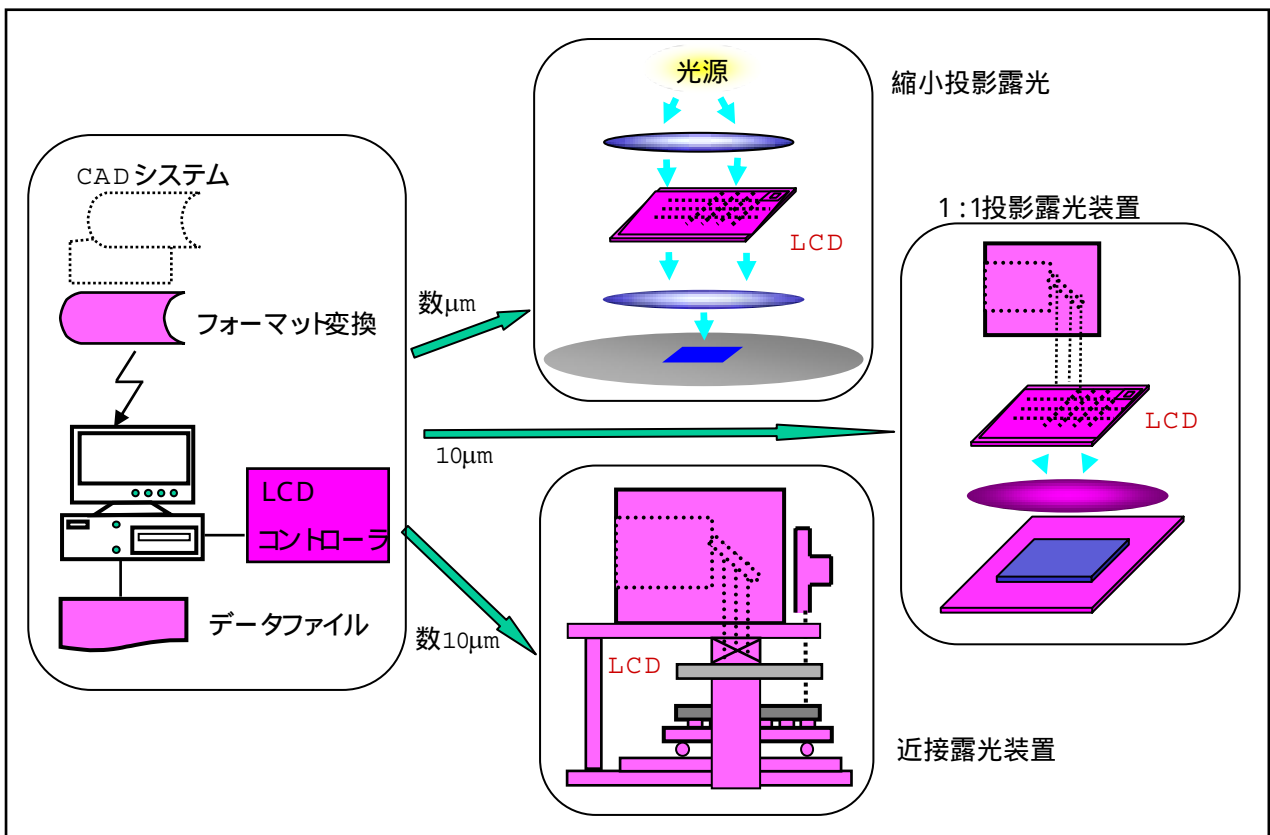


図2. レチクルフリー直接露光技術と各露光方式の相関

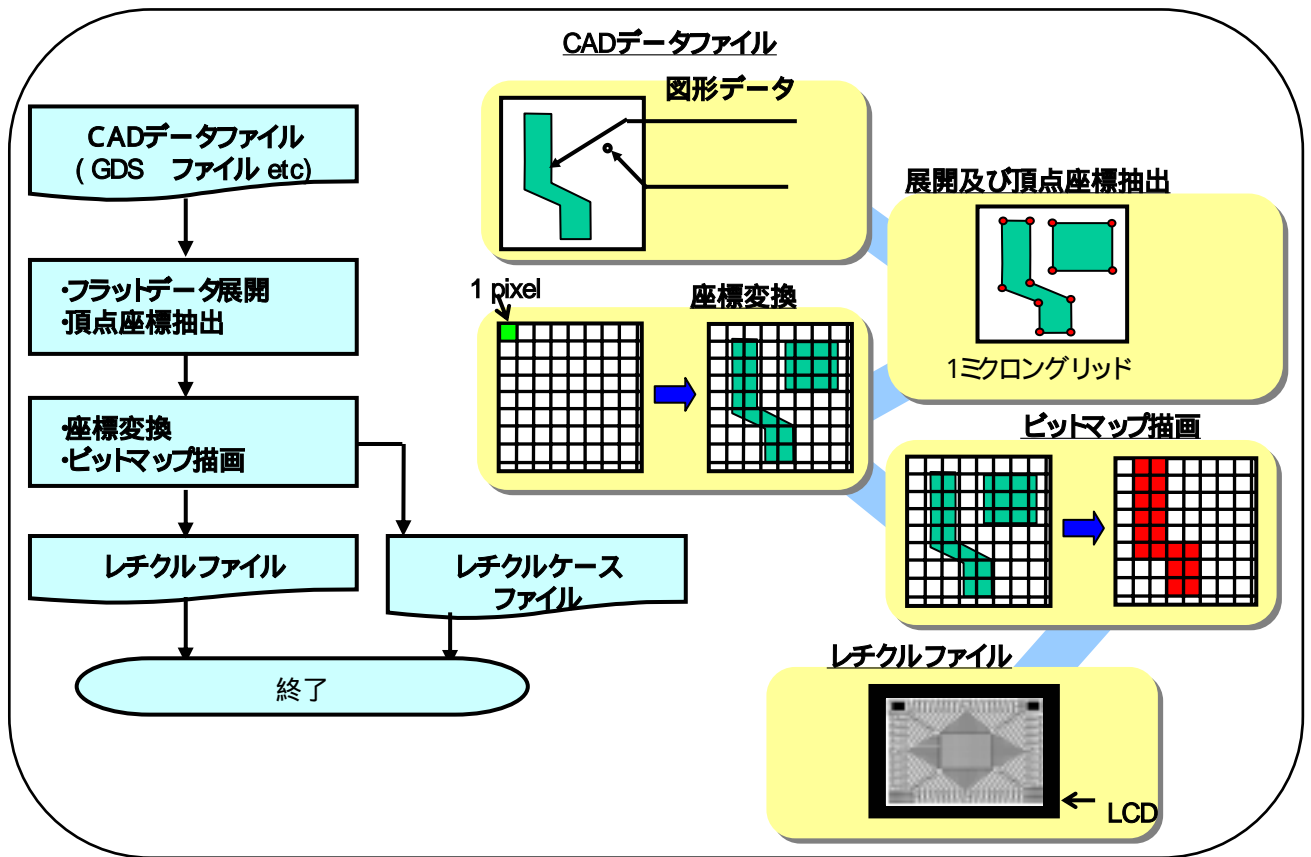


図3 .露光データ作成フロー

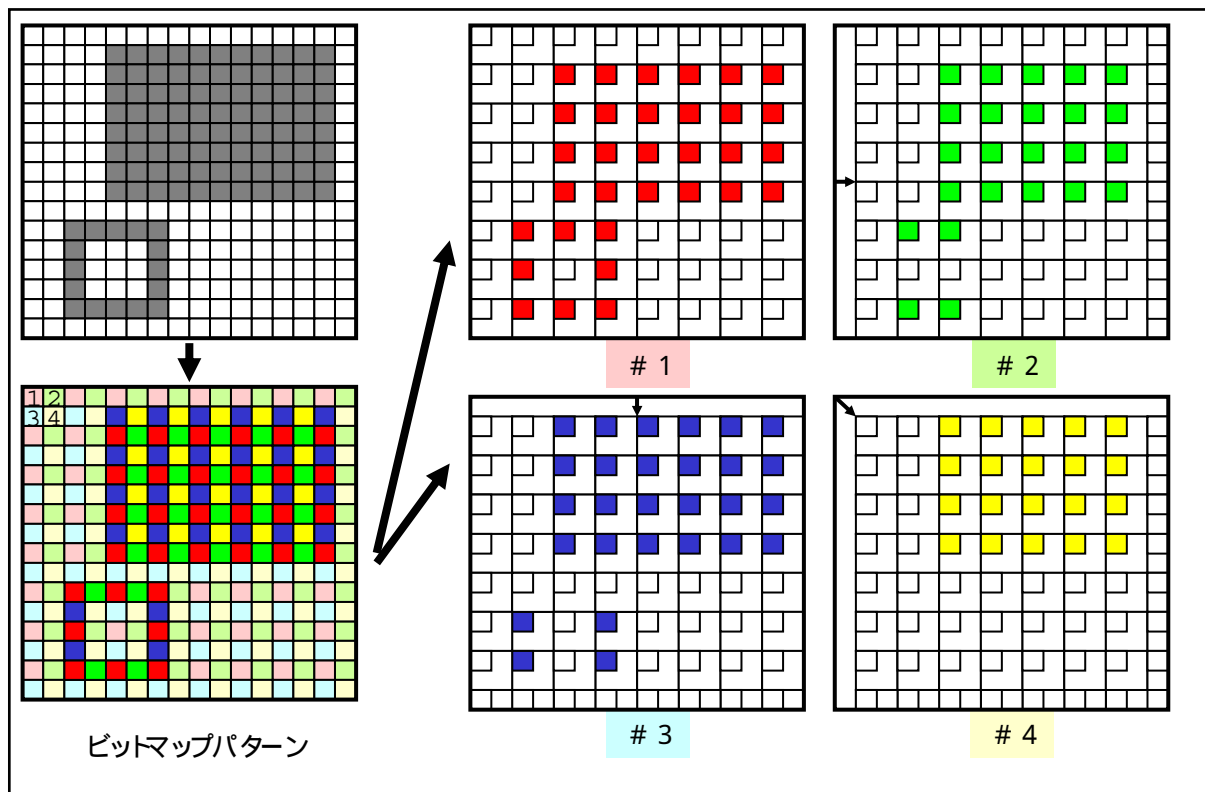


図4 . LCD開口部と露光データの関係

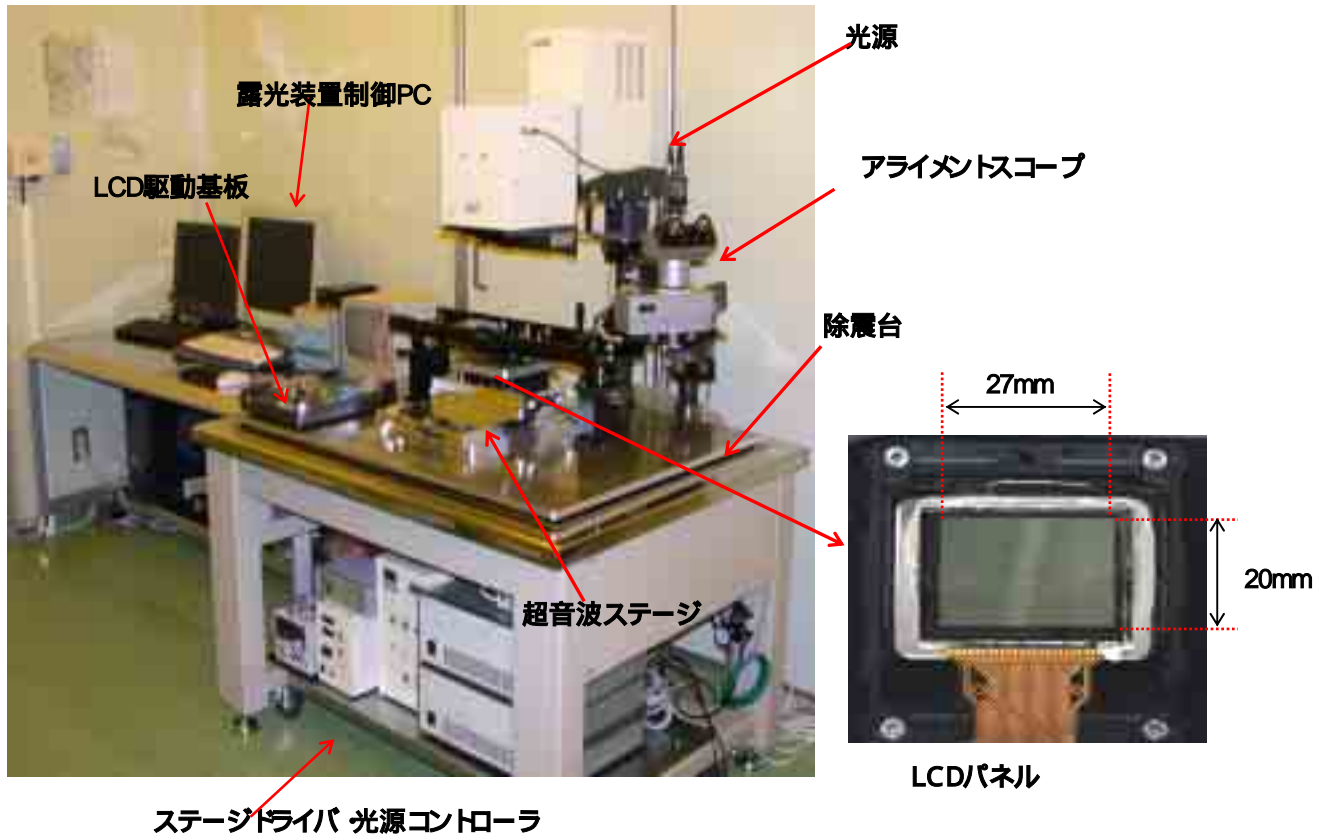


図5.近接露光装置外観

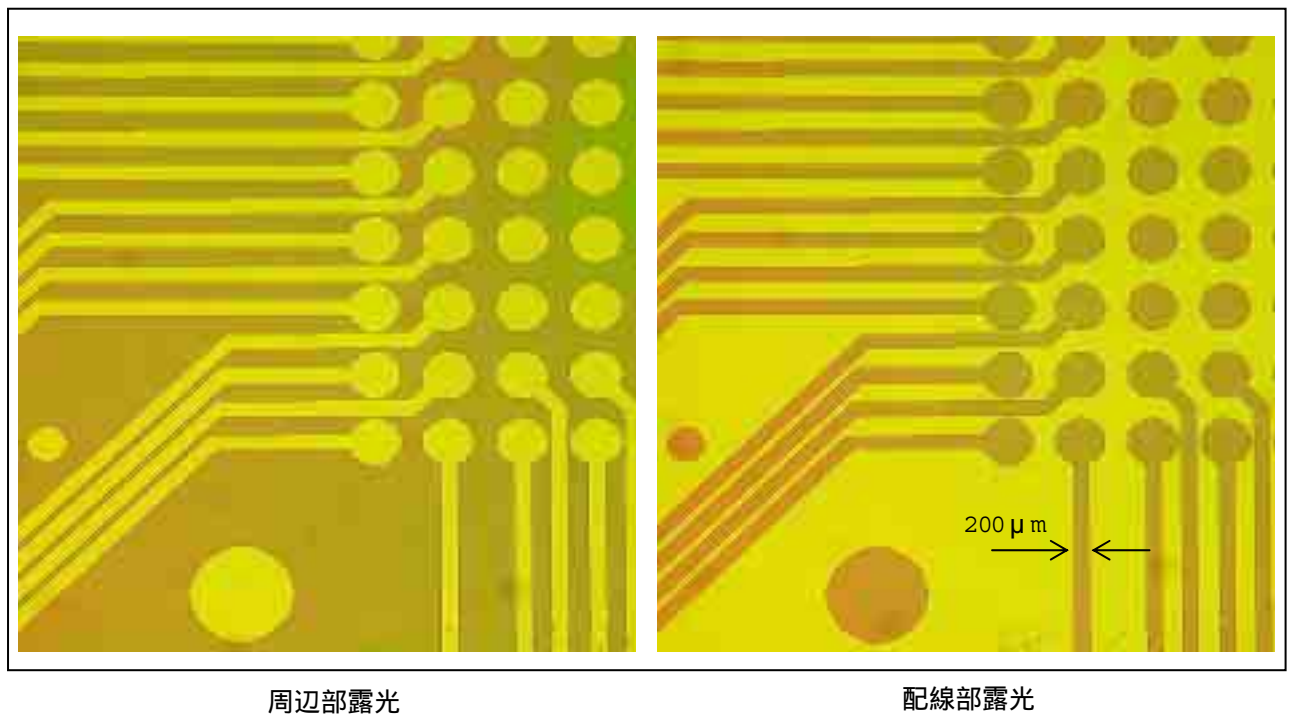


図6.近接露光装置による露光例

レチクルフリー直接露光装置のひとつの特徴は上図のように露光部・未露光部の変更、いわゆる白黒反転が同一データで簡単に可能

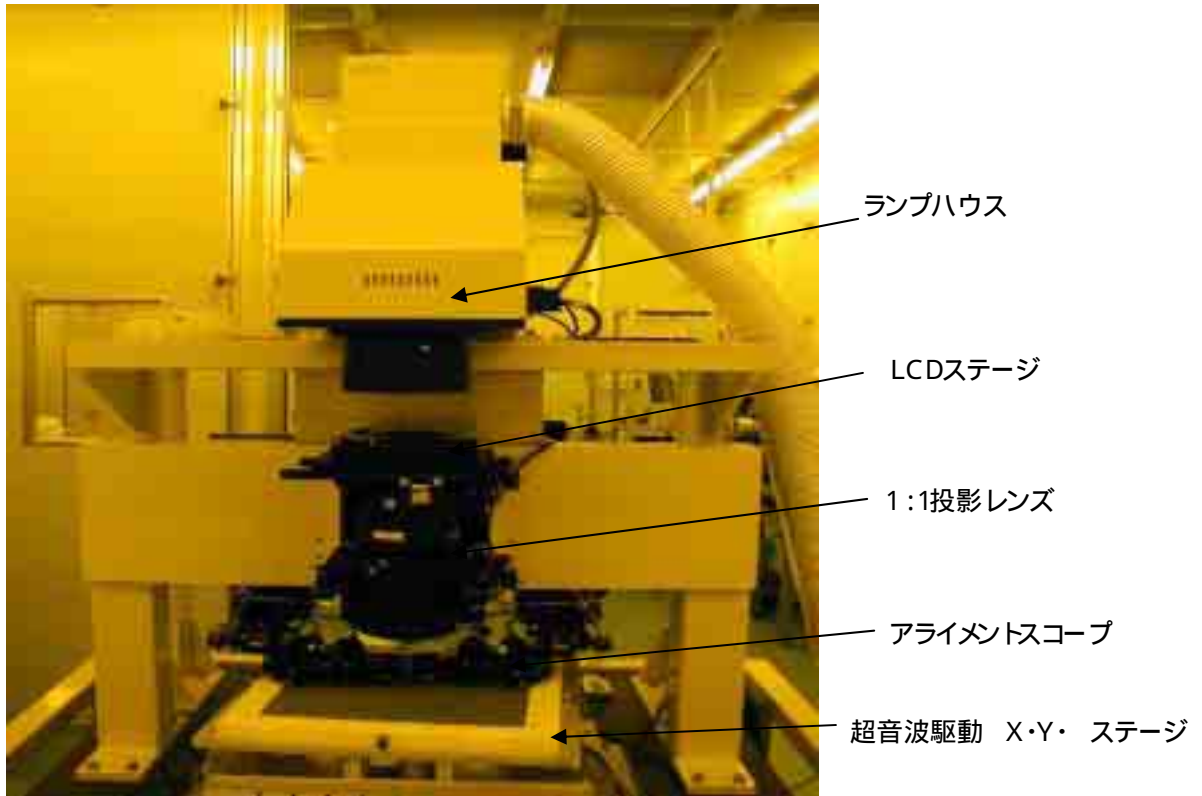


図 7.1:1 投影露光装置

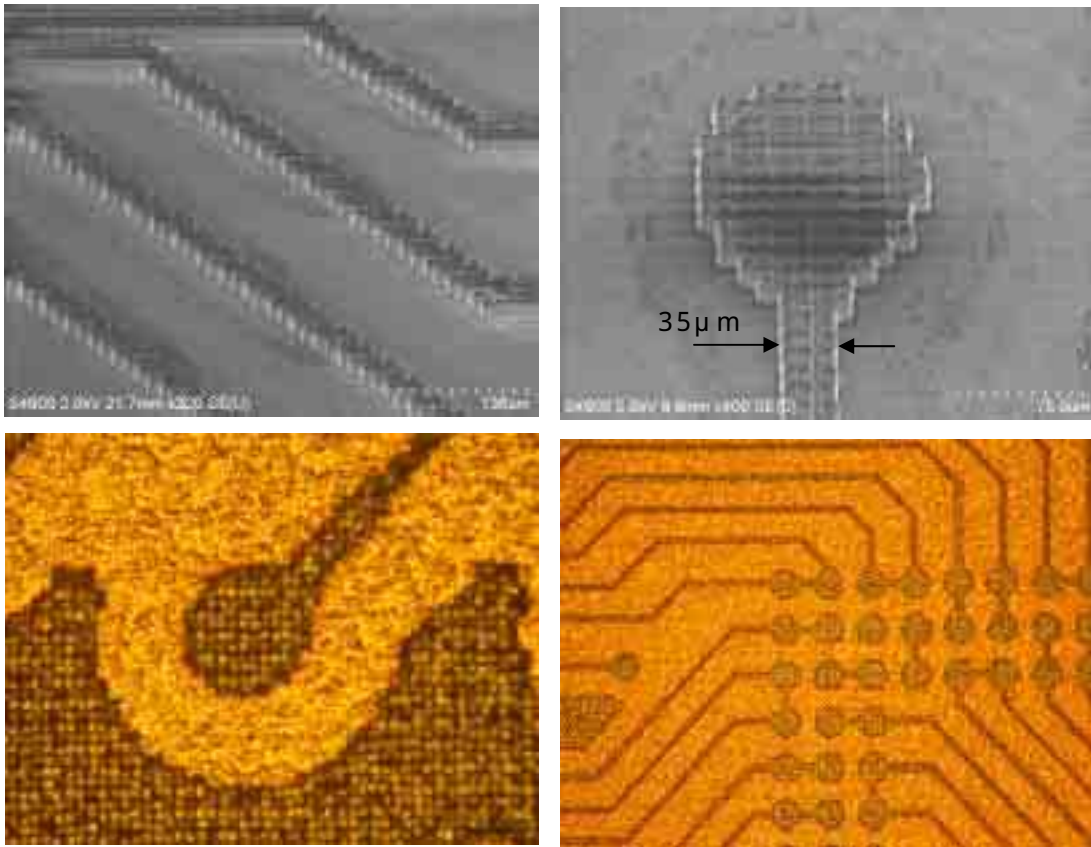
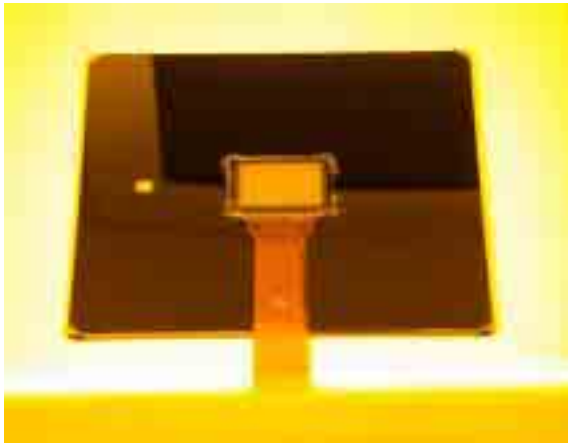
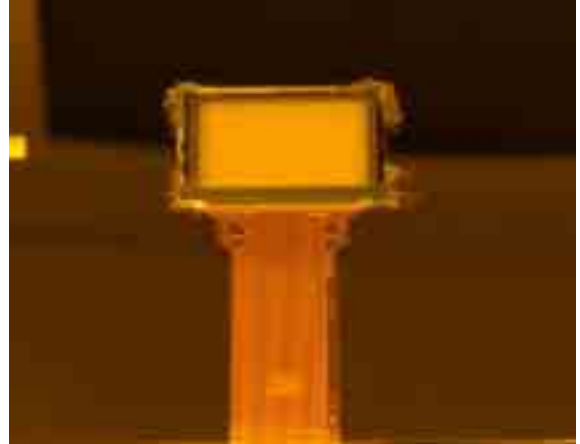


図 8.1:1 投影露光装置による露光例 (ドライフィルムレジスト)



全体像



LCD部分の拡大像

図9.通常のクロムレチクルにLCDを接着した状態
ユニバーサルレチクル

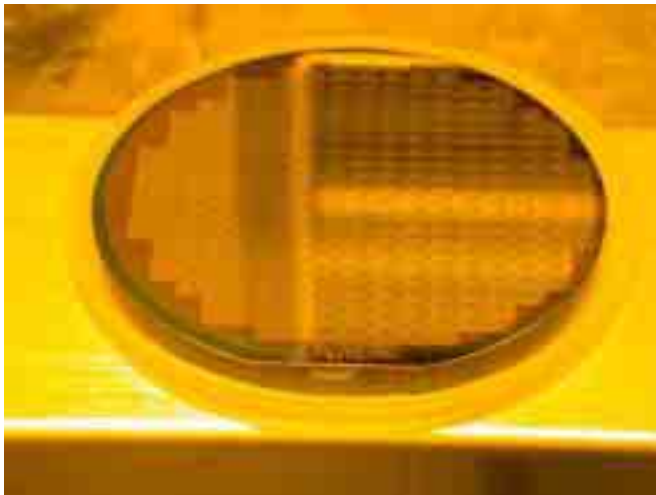


図10.ユニバーサルレチクルをg-線ステッパーに適用した例
S&R露光後の4インチSウエハ写真
(280ショット)

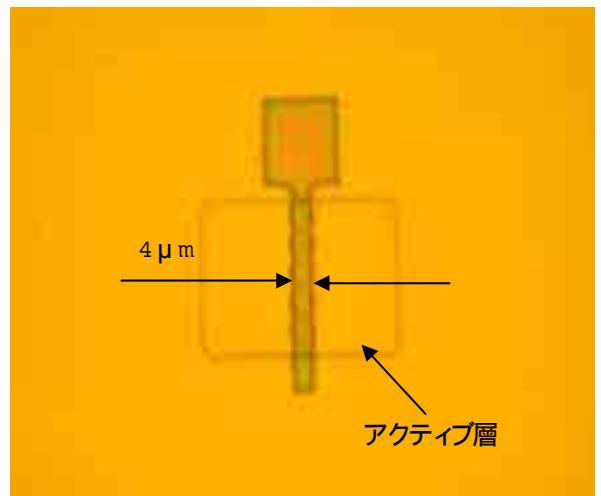
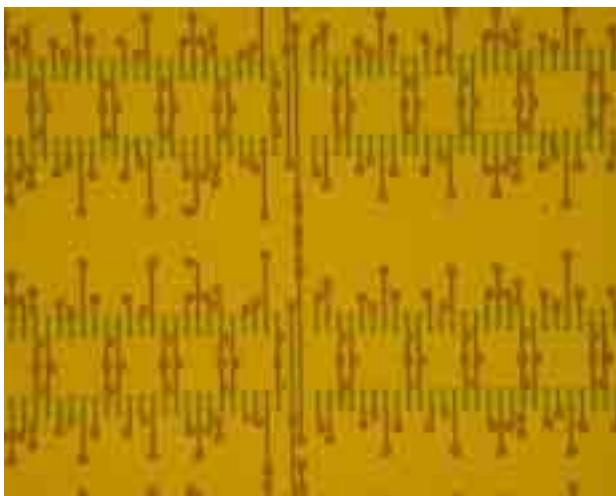
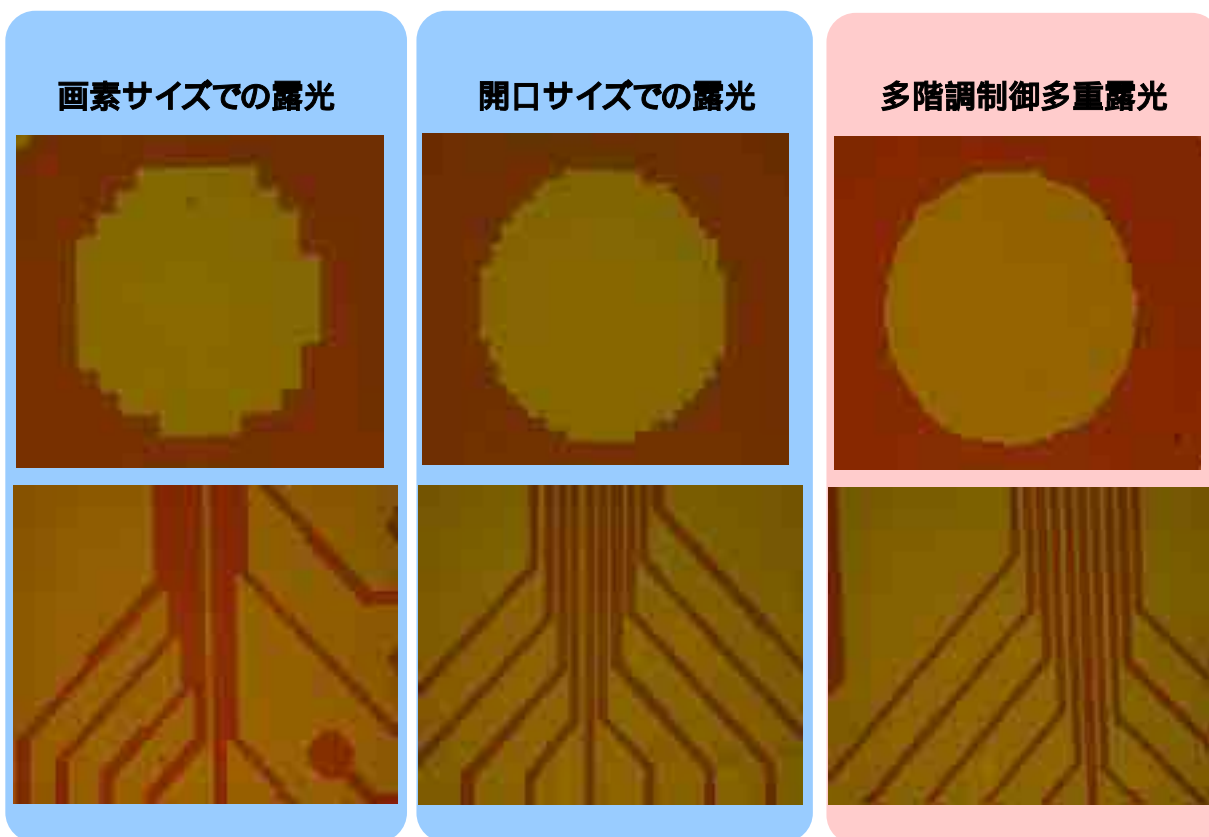


図11.MOSデバイスのアクティブ層にゲートを重ね露光した例



(a) 23 μm ピッチ

(b) 11.5 μm ピッチ

(c) 5.75 μm ピッチ

図 12.1: 1:1 投影露光装置を用いて多重露光により開口サイズ以下のアドレスサイズでパターンを形成した例

表 1. レチクルフリー直接露光技術関連装置仕様

No	項目	g 線ステッパー	1:1 投影露光装置	近接露光装置
1	照度 (mW /cm ²)	500	120	30
2	照射エリア (mm)	150	100	75
3	露光領域	15mm x 17.5mm	36mm x 27mm	27mm x 20mm
4	基板サイズ	150mm	340mm x 340mm	125mm x 125mm
5	最小加工寸法 (μm)	2.0 (1.0 stepper 解像度)	10	26
6	重ね合せ精度 (μm)	0.25	0.5	2
9	露光速度 (分 / 枚) (○FPR レジスト)	60	30	30