

電子線直接描画技術のシステムLSI生産への展開

Application of Electron Beam Direct Writing Technology to System LSI Manufacturing

松岡 玄也 Gen'ya Matsuoka 田和 邁 Tsutomu Tawa



電子線描画装置“HL-900D (ADV)”の外観

高精度描画を実現するために、装置本体と精度が要求される制御回路を、恒温化されているチャンバの内部に格納している。

半導体デバイスの分野ではカスタムLSIへのニーズが高まっており、少量生産をどのように低コストかつ短期に実現するかが課題となっている。これにこたえるため、株式会社日立ハイテクノロジーズは、直接描画用電子線描画装置“HL-900D (ADV)”を開発した。

HL-900D (ADV)は、レチクルを必要としないリソグラフィ技術である電子線直接描画技術を用いることにより、カスタムLSIの少量生産でのコストや納期の問題解決に貢献するものである。

1 はじめに

半導体デバイスの微細化が急速に進み、最小パターン寸法はすでに100 nm以下となり、露光工程で使用する露光機の光の波長以下となっている。このような微細なパターン形成を実現するために、リソグラフィ工程では特殊な露光方式を採用している。また、使用するレチクルには解像度を向上

するための微細な補助パターンが求められており、最先端のレチクルの製作には時間、費用を従来以上に必要としている。

一方、メモリのように大量生産を必要とするデバイスとともに、顧客独自の要求に対応したカスタムLSI (Large Scale Integration) の需要も伸びている。カスタムLSIは、一般的に、生産するウェーハの枚数が少ないことから、ウェーハ1枚当たりのレチクル価格が高くなり、廉価なデバイス製造が困難である。さらに、使用するレチクルに対する精度が厳しいので、レチクル

を製作する期間が数か月と長期に及ぶこともあり、顧客が求める納期に対応できない場合も生じている。

このようなカスタムLSIの製造には、コスト、製造期間の両面で、レチクルを必要としないリソグラフィー技術が適している。レチクルが不要なことから、価格や納期に縛られることなく、LSIを生産することができる。レチクルを必要としない露光技術としては、電子線描画装置を用いてウェーハ上にパターンを直接描画する電子線直接描画技術がある。

ここでは、株式会社日立ハイテクノロジーズが開発した直接描画用電子線描画装置“HL-900D (ADV)”と、そのSiデバイスへの適用例、および電子線描画装置を用いた直接描画技術の現状と今後の展開について述べる。

2 電子線描画装置“HL-900D (ADV)”の概要

電子線描画装置“HL-900D (ADV)”は、直接描画用に開発した装置である。主な仕様を表1に、描画例を図1にそれぞれ

表1 HL-900D (ADV)の基本仕様
主な仕様を示す。

項目	仕様
解像度(孤立ライン)	90 nm
寸法精度(3σ)	10 nm
接続精度(3σ)	30 nm
重ね合わせ精度(3σ)	35 nm

れ示す。また、電子線描画での焦点深度を図2に示す。

電子線の加速電圧では、90 nm以下の解像度を実現するために必要な50 kVを採用している。ビームでは、最大2×2 μmまで形成することができる可変成型ビームと、最大4×4 μmの大きさの一括ビームを用いている。

装置全体はワークステーションによって制御している。入力データは専用のデジタル制御回路によって所定の処理を行った後、アナログ回路に送って電子線を制御している。

HL-900D (ADV)は、従来の装置に対応して、以下の改良を図った。

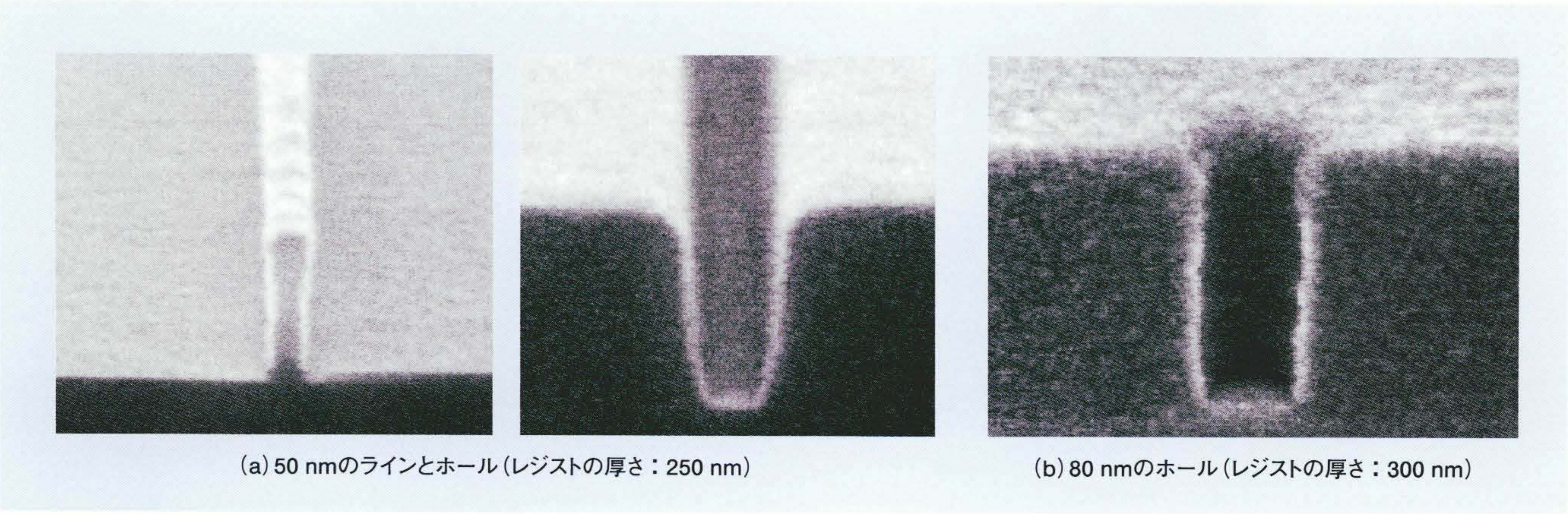


図1 HL-900D (ADV)での描画の例
ポジ、ネガレジストでの解像度の例を示す。

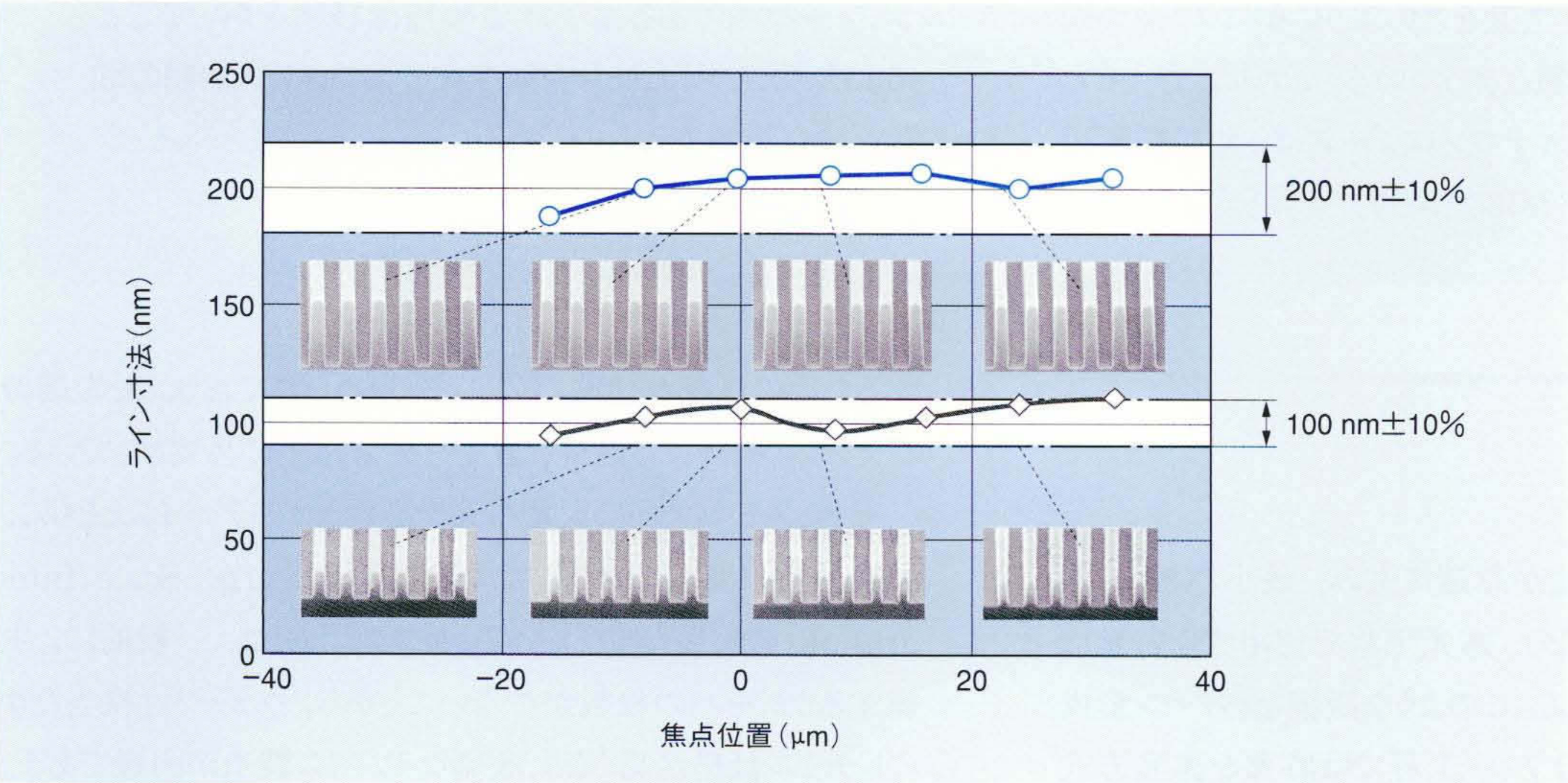


図2 電子線描画装置での焦点深度
焦点位置を変えて描画を行い、パターン寸法の変化を調べた。約30 μmの深度があることがわかる。

(1) 新電子光学系の採用

解像度と電子線の制御性を向上させるために、電子光学系の高解像度化を図るとともに、ビーム寸法、偏向位置をいっそう微細に制御できるようにした。また、HL-900D(ADV)は可変成型ビームのほかにセルプロジェクション(一括露光)の機能を持ち、電氣的に21種類、機械的には525種類のセルを選択することができる。

(2) コンパクトな装置

描画装置は生産現場であるクリーンルーム内に設置されることが多いので、できるだけコンパクトであることが求められる。この装置では、本体を約2×3 mの恒温チャンバ内に収めることにより、床面積の低減と、精度に影響する回路の安定化を図る。

(3) 操作性の向上

SEMI(Semiconductor Equipment and Materials Institute)規格に基づくGUI(Graphical User Interface)の採用により、容易な操作性を実現する。

電子線描画装置で描画を行うには、所望するパターンデータを用意する。CADで作成されたデータにはパターンの重なりがあったり、図形形状を電子線描画装置で処理するには適していなかったりするので、この装置に適した形式のデータに処理する必要がある。大量のデータを高速で変換するこの処理は、描画装置とは別に処理用のワークステーションで実施する。

現在、電子線直接描画技術の主な適用分野はSiデバイスである。HL-900D(ADV)では、最大約20.3 cm(8インチ)までの試料を「C to C(カセット ツー カセット)方式」で扱うことができる。また、GaAs、磁気ヘッドデバイスなどのSiウェーハ以外の試料については、装置内でウェーハを保持するパレットの構造と、試料搬送部の変更で対応できる。

デバイス製造に直接描画技術を適用する場合には、多くの露光工程の中でも精度を要求される工程に用いられることが多く、その他の工程は従来の光露光が用いられている。つまり、デバイス製造では、ステッパーあるいはスキャナーとの混用が行われることになる。HL-900D(ADV)は、このような「ミックス アンド マッチ」でのデバイス製造を考慮し、光の露光結果に合わせて描画を行う機能を持つ。

3 システムLSI生産への適用

電子線描画装置を用いた直接描画技術をデバイス開発やシステムLSIの生産に適用するには、解決すべき課題が幾つかある。中でも大きな課題の一つは描画についての信頼性であり、もう一つは生産コストであると考えられる。

3.1 直接描画技術の信頼性

直接描画技術は、パターンデータに基づいて電子線を操作し、所望のパターン形成を行うものである。リソグラフィー工程の主流である光リソグラフィーでは、レチクルのパターンを転写するために、レチクル上のパターンが正確に形成されていれば、少なくとも露光時には同じパターンが転写される。直接描画技術では、描画時にパターンを形成しているので、パターン生成に関わる装置の制御回路や、実際に露光する電子線の動きには、非常に高い信頼性を実現する必要がある。

前述したように、電子線描画装置では描画時にデータを処理しながら描画を行っている。このため、パターンデータの処理や電子線の制御には、多くのデジタル回路が使用されている。これらの回路に使用されているLSIは高精度なデバイスが用いられていることから、信頼性の高い制御系が実現できる。

一方、制御回路によって精密で正確に制御されるべき電子線も、装置周辺からの電氣的雑音や電子光学系内での帯電などにより、所定の動作が行われていない可能性がある。このため、これら制御回路と電子線を含めた装置全体で微細なL&S(Line and Space)状の配線を形成し、パターン間のオープンショートチェックを行うことによって信頼性を確認している。

ウェーハ上に110 nmレベルのLSIを作成し、その寸法分布を評価した結果を図3に示す。チップ内の50か所の寸法を測定し、チップ内の平均寸法とそのばらつきの程度を表している。微細なパターンに対して、ばらつきの少ないパターンが形成されていることがわかる。

このような均一性の良いパターンを実現するには、電子線描画装置の安定性のほかに、現像などのプロセスでの均一性が高いことが必要である。

		0.102 (8.1)	0.103 (6.8)	0.104 (6.8)		
	0.104 (3.7)	0.105 (3.4)	0.106 (3.5)	0.107 (3.9)	0.107 (3.4)	
0.105 (5.0)	0.104 (5.9)	0.105 (4.4)	0.105 (3.1)	0.106 (5.7)	0.108 (5.3)	0.104 (7.3)
	0.104 (5.1)	0.106 (4.6)	0.105 (3.7)	0.107 (4.7)	0.107 (5.2)	
		0.101 (9.0)	0.102 (8.1)	0.102 (8.9)		

注：上 段；寸法分布(μm)平均=0.105
下 段；ばらつき分布(3σnm)平均=7.9
測定点；50ポイント/チップ

図3 直接描画技術の信頼性の評価結果

ウェーハ内の寸法分布の測定を行うことによって描画の信頼性を評価した。

3.2 生産コスト

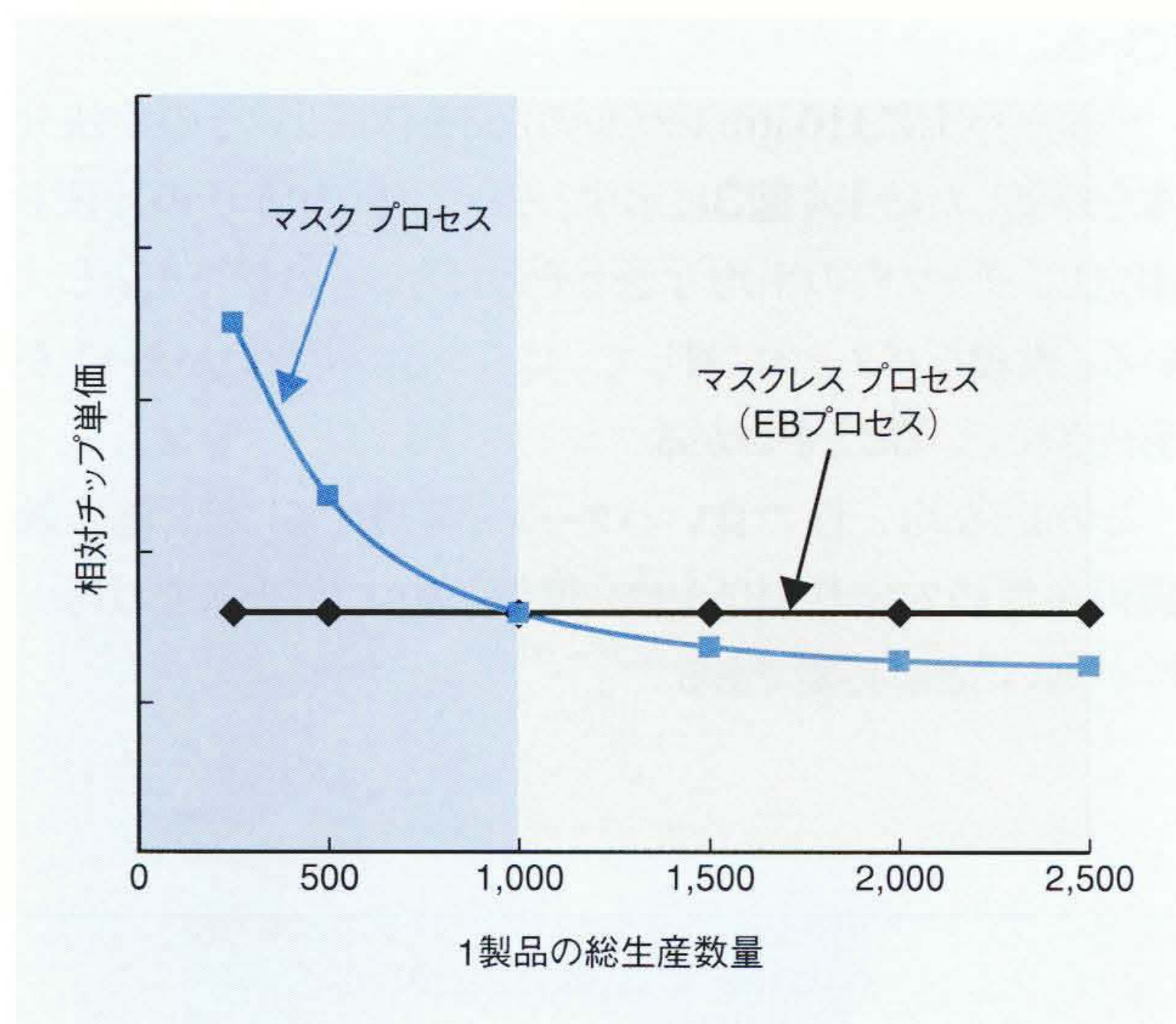
直接描画技術をカスタムLSIの生産に適用するには、コストが見合わなければならない。リソグラフィー装置と生産コストの比較については、すでに幾つかの論文が発表されており、その中で、直接描画技術とその他のリソグラフィー技術とのコストの違いが検討されている^{2),3)}。

直接描画技術がコスト面でメリットを持つのは、以下の2点である。

- (1) 生産するLSIの個数が少ないので、レチクルを使用するとデバイス価格が高価になる場合
- (2) レチクルの納期が長く、短期間にデバイス(特にサンプル品)の制作ができない場合

このような場合には、レチクルが不要な直接描画技術が有利になる。コストで直接描画技術が光露光に優れるのは、生産するチップの個数が少ない場合である。そのようなケースでは、チップ当たりのレチクル価格が大きくなることから、生産コストが高くなる。両方式でのコストの生産チップ数依存性を図4に示す。

生産個数が少ない場合には直接描画方式のほうがコスト



注：略語説明 EB(Electron Beam)

図4 マスクを使用しない直接描画と、マスクを使用する露光方法でのコストの比較

両者のコストが交差する点は、装置価格、レチクル代、スループット、チップ価格などに依存して変わる。この例では、約1,000個のチップの生産が分岐点となっている。

が低く、個数が増えるにしたがって、光露光でのコストが下がってくる。両者のコストが交差する生産量は、装置価格、レチクル代、ランニングコスト、スループット、歩留りなど、前提となる条件によって変化する。1,000個以上のチップを生産する場合には、光露光の方がコストの低いことがわかる(図4参照)。

4 直接描画技術の今後の展開

直接描画技術は解像度が高いことから、デバイスの研究、開発の分野では従来から用いられてきた。市販されている電子線描画装置が生産現場に導入され始めたのは最近のことである。今後は、デバイスの多様化、寿命の短命化にレチクルの価格高騰などの理由で、レチクルを不要とする直接描画技術の適用が広まるものと考えられる。

5 おわりに

ここでは、株式会社日立ハイテクノロジーズが開発した直接描画用電子線描画装置“HL-900D(ADV)”と直接描画技術について述べた。

直接描画技術は、Siデバイスのほか、磁気ヘッド、GaAsデバイス、光デバイスなどの分野でもパターン形成に活用されているが、今後いっそう多くの生産現場で適用されるには、装置の信頼性を高めることが最も重要となる。日立グループは、これからも、デバイスの微細化に対応する高精度化を図るとともに、生産現場で使いやすい装置を提供することを念頭に、直接描画用電子線描画装置のさらなる性能の向上を目指していく考えである。

参考文献

- 1) H. Hayakawa, et al.: Application of Electron Beam Direct Writing to ASIC Fabrication, HCTP(1997)
- 2) S. Ishihara, et al.: Evaluation of Lithography Cost of Ownership, XEL Lithography Workshop(1995)
- 3) Y. Gomei, et al.: A Cost-of-ownership Study on Lithography Systems, Semiconductor International (July 1998)

執筆者紹介



松岡玄也

1970年日立製作所入社、株式会社日立ハイテクノロジーズデバイス製造装置事業統括本部 EB部 所属
現在、電子線描画装置の開発に従事
応用物理学会会員
E-mail: matsuoka-genya @ nst. hitachi-hitec.com



田和 遼

1972年日立製作所入社、株式会社日立ハイテクノロジーズ設計・製造統括本部 那珂事業所 エレクトロニクスシステム第二設計部 所属
現在、電子線直接描画装置のシステム開発に従事
E-mail: tawa-tsutomu @ naka. hitachi-hitec.com