

電子ビーム描画装置の開発

垂井康夫*（電子技術総合研究所）

昭和51年からの通産プロジェクト「超LSIプロジェクト」は良く知られているが、その10年前にそのさきがけとなるプロジェクトが存在したことはあまり知られていない。それは昭和41年から始まった工業技術院の大型プロジェクトの一つである「超高性能電算機の研究」、略称^⑧で、このプロジェクトにおいて超LSIプロジェクトの成功を可能にしたいくつかの準備がなされていたと私は感じている。

電子ビーム描画装置開発開始

この^⑧プロジェクトの電気試験所における全体の責任者は西野博二電子計算機部長で、筆者はLSI開発の部分を担当した。電気試験所における研究は電子ビーム描画装置の開発と新しい半導体デバイスの発明と開発であった。プロジェクトの始まりに当たって、装置開発のテーマを研究室員の傳田精一さんと相談を重ねた。超高性能電算機は超高速を目指すのだから、超高速トランジスタを作る技術が必要であろう、そのためには光リソグラフィを超えて微細に作る方法が必要である。それを可能にするのは電子ビームでの露光であろう、ということで、ちょうどこの年電気通信大学を卒業して入所、研究室へ配属された馬場玄式氏（その後特許庁）を加えて電子ビーム描画装置を計画した。すなわち、今でいうベクタースキャン方式をはじめ、パターン重ね合わせ方式なども考案してSEMを完成し、これを当時その次の段階を模索していた日本電子へ昭和41年に発注した。これが超LSIプロジェクトで大規模に取り上げられ、ステッパ開発のきっかけにもなった電子ビーム描画装置の始まりであった。

電子ビーム描画装置での描画開始

昭和42年には前年度の超高性能電算機のプロジェクトスタートと同時に発注した電子ビーム描画装置が一応完成し納入されたので、さっそく実験を行い、昭和42年電気4学会連合大会で発表した。

*現在 東京農工大学名誉教授

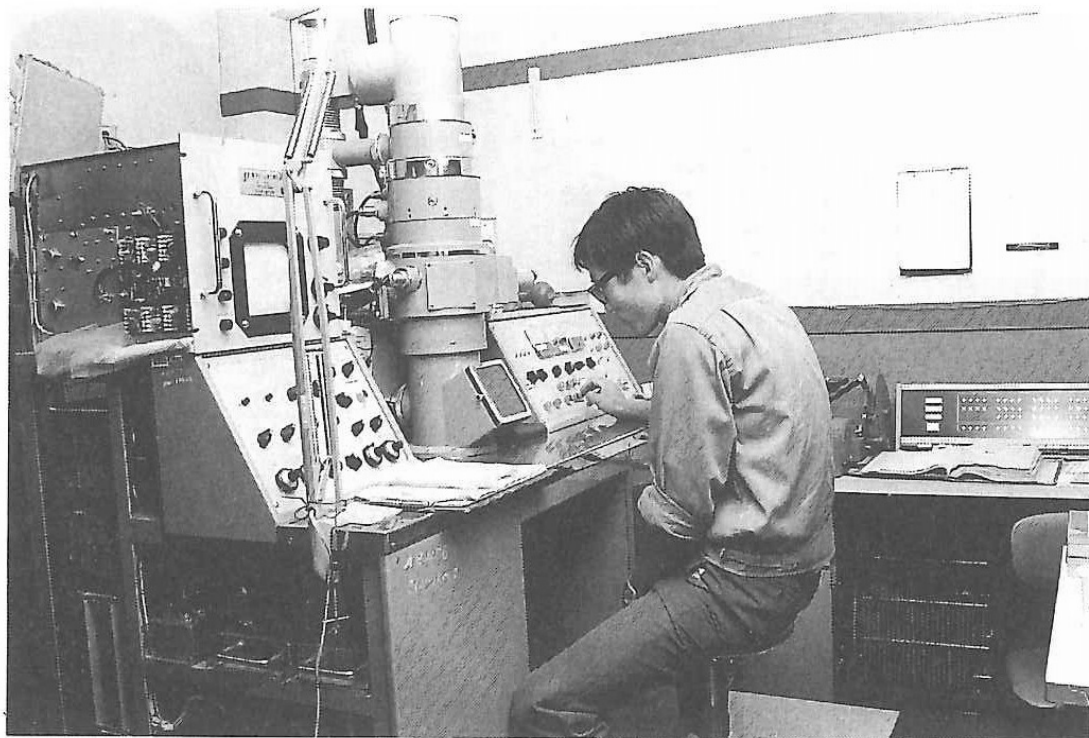


写真1 昭和42年に電気試験所で完成したコンピュータ制御、ベクタースキャンの電子ビーム描画装置

なぜ、電子ビームかは、その後20数年いい続けられているように、光リソグラフィは光の回折などによって、用いる光の波長に比べて、あまり小さいパターンを作ることはできない。そこで、光リソグラフィでは波長を下げることに、各種の解像度改善技術を開発して少しずつ進歩しているところであるが、この点電子ビームの対応波長は加速電圧100ボルトでもオングストローム程度で将来共問題ない。

もちろん、少しも問題がないわけではない。例えば、レジスト露光においては、レジスト感度にもよるが、SEM測定よりも3桁くらい大きい電子ビームが必要で、ビームの電流が大きくなると電子の反発でビームが太くなる。しかし、このような点も考慮しても、電子ビームが当時から現在まで一番微細なパターンを描ける方法なのである。

1665

半導体素子製作用電子ビーム露光装置

垂井康夫 伝田精一 馬場玄式 宮内 栄 田中一光
(電 気 試 験 所) (日 本 電 子)

半導体集積回路を微小化することは、経済性、電気的特性から当然の要求であるが、現在ではフォトリソグラフィの精度がこれを決めている。フォトリソグラフィの精度向上に対してはマスク、フォトリソレジスト、アライメント等に夫々問題があるが、最小線巾、解像度が 1μ より小さくなって来ると紫外線波長による回折現象が利きはじめる。

電子ビームをフォトレジストに照射すると露光することはすでによく知られているが、ビームの電子波としての波長は加速電圧100Vで $1\text{\AA}$ 前後であり、回折は問題とならない。ビームスポット径を小さくして外部より電子計算機で発生した信号でパターンを描かせる方法を用いた、現在試作中の電子ビーム露光装置の概要について述べる。

1. ビームの性質

スポットの直径は $1\text{ }\mu$ 以下、ビーム電流は SEM 領域 ($10^{-8}\text{ coulomb/cm}^2$) から露光領域 (10^{-5} C/cm^2) まで可変、加速電圧は $5\sim 50\text{ KV}$ である。

2. 装置の概要

図 1 は示すように、露光部、制御用デジタル電子計算機、走査信号発生器、SEMモニター等より成り、命令及びパターンデータは紙テープに入れる。1枚のウエハ全面を精度よく走査することは不可能なので1チップずつ露光し終わったら試料台を動かす。チップは最大 2×2 mmまで可能で、この中にスポットが 16×10^9 入る。パターン信号はモニターのブラウン管及び

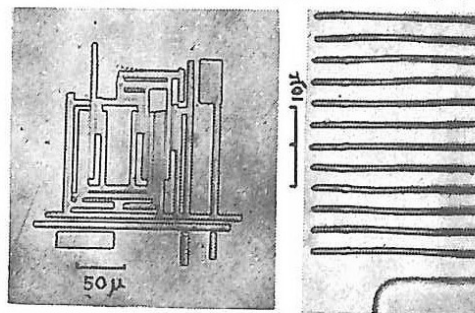
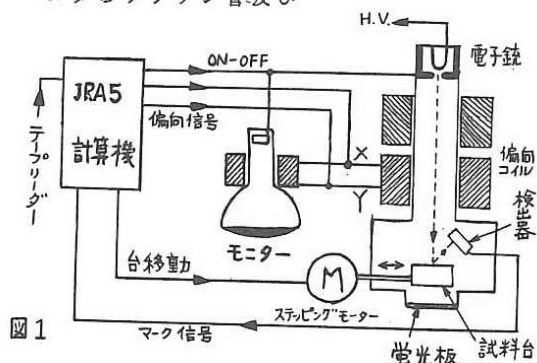


図3 IC配線パターン例及び平行線

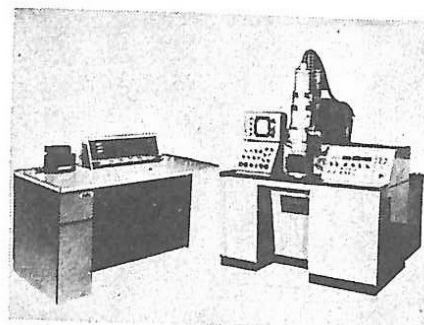
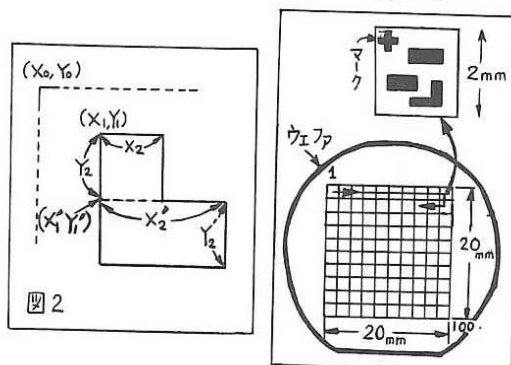


圖4 裝置外觀

写真2 昭和42年電気4学会連合大会で発表した電子ビーム露光装置の論文

むしろ、電子ビーム描画の問題点は、その描画速度である。われわれはこの高速化の最初のステップとして、露光する部分のみを走査して、終わると次の露光部へ飛ぶという方法考えた。この方法は現在ではベクタースキャンと呼ばれている。この方法をとることによって、図形の記憶は一つの矩形ごとにX Yの座標とX Y方向の長さの4つの数字で行うことができるから、それまでよりもずっと少ない記憶容量ですむことになった。

特に有効だったのは、位置合わせの特許である。すなわち、光リソグラフィでは、次のマスクのパターンをウェハ上のパターンと重ねることによって位置合わせを行うが、電子ビームでは同じことはできない。そこで、ウェハ上に電子ビームで読み取るマークをつけて、これを電子ビームで走査して反射電子、二次電子などの出力を読み取って、位置決めを行った。この目的のマークはどのような材料でどのような形状が良いかも検討して特許化した。さらに波及効果が大きかったのは、装置設計時にはむしろ考えてもいなかった次のように意外なところから生まれた。

電子ビームにおけるステップ・アンド・リピート

電子ビームで描画する面積は、偏向歪を抑えるために小さい面積に制限する。この装置では2ミリ角にした。そこで2ミリ角を描画してから、ウェハをステップモータで移動して、電子ビームで30マイクロメートル角を走査してマークを探し、位置を決めるようになっていた。

「電子ビーム露光特許」は工技院で第6位

この実験は主として傳田さんと馬場さんが担当していたが、ウェハを2ミリ移動すると30ミクロン以上の誤差が生じて、マークを検出できなくなることがしばしば起こってしまった。そこでウェハを保持するウェハステージを別の方法で測定して制御する必要があるということになり、図に示すようにレーザでステージを測定しようという発想が生まれ、実用新案として権利化された。数年後以降に生産された電子ビーム装置はほとんどこの方式が使われ、マークによる位置合わせなども含めて特許料が国庫に納入された。平成4年の工技院での調べによると、工技院内でそれまでのすべての特許の実施料総計の中で、この電子ビーム露光に関する特許・実用新案によるものは第6位であった。

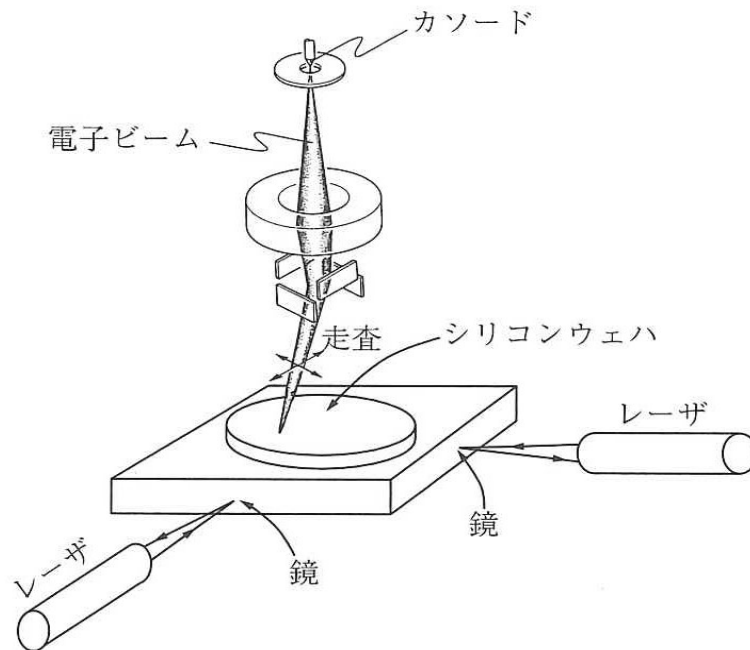


図1 電気試験所で考案されたレーザー位置合わせによるステップ・アンド・リピート機能を持つ電子ビーム描画装置の原理図

光学ステッパ開発の萌芽

さて、この電子ビーム描画後、レーザーで測定しながらウェーハを移動して、描画してと、これを繰り返す。すなわち、このステップ・アンド・リピート機構を実現しようと、日本光学に発注した。この時、打ち合せのため電気試験所に来て下さったのが吉田庄一郎課長（その後ニコン社長）であった。しかし、現在ではどこにもあるようなステップ・アンド・リピート装置も、最初は作るのに大変であったようである。

ところで、この装置はさらに意外な方向への発展を始める。これは現在の光学ステッパへの発展である。現在のいわゆるステッパは、図に示した電子ビームの走査部分を光学部分に置き換えるという日本光学での構想から生まれた。吉田庄一郎氏によると、このステッパの構想は昭和45～46年頃にGCAの方々の前でプレゼンテーションした。その時、デビッドマン社社長のウィラーさんに「そんな一回一回アラインメントしてやるのでは、スループットが得られなくてだめだ」と断られたということである。

そのようなことで、光学ステッパは最初にG C Aが開発して、超L S I 共同研がこれをフォローしたと思っている人があるかもしれないが、そうではなくて電子ビーム装置で遭遇した意外な問題点に対する適切な対処からのステッパへの道が拓けた。思わぬ問題が出てきた時もそれをチャンスと思って対処した方が良いということを教えていると思われる。

「電子ビーム露光」で全国発明表彰

昭和52年5月、昭和52年度全国発明表彰において、傳田精一、馬場玄式の両氏とともに「電子ビーム露光装置の発明」に対して経済団体連合会長発明賞をいただいた。ちょうど超L S I 共同研においてさらに進んだ電子ビーム描画装置を開発中でもあり、タイミングも良く大変有り難いものであった。

発明協会総裁の常陸宮・同妃両殿下の台臨のもと、協会会長井深大氏立ち会いで表彰状をいただいた。写真は両殿下に発明の内容を御説明申し上げているところである。



写真3 全国発明表彰において常陸宮に発明の内容を御説明申し上げている所。右から常陸宮・同妃殿下、井深大会長、筆者、傳田精一氏、馬場玄式氏、傳田夫人、馬場夫人、筆者夫人

その後の発展

この電気試験所における電子ビーム描画装置の考え方、技術、特許は10年後の超LSIプロジェクトで大幅に取り上げられ、発展することとなる。このプロジェクトは昭和51年からの通産省補助金を用いた研究組合によるもので、当時汎用コンピューターを生産してい

た富士通（株）、（株）日立製作所、三菱電機（株）、日本電気（株）、（株）東芝の5社により構成された。その内に共同研究所が設けられ、筆者が所長を勤めた。

超 LSI には微細加工技術が重要と云う事で、共同研究所の 6 つの研究室の内 3 つの研究室を微細加工技術に当て、3 つの電子ビーム描画装置が開発された。その内 2 種類は 1 号機、2 号機と 2 回製作された。その 1 つはベクタースキャン型、いま 1 つはラスタースキャン型マスク描画装置である

これらの技術は現在も製品に生かされており、前者は日本電子（株）、後者は（株）ニューフレアテクノロジーから供給されている。特に後者は世界シェア90%以上である。

一方、光学ステッパーは（株）ニコンおよびキャノン（株）に発注され、これらも製品となり、それぞれ相当な世界シェアを保っている。

これら、いずれも超 LSI 製造技術に大いに貢献している。

参考文献

垂井康夫 ” 超 LSI への挑戦 “ 工業調査会、2000
垂井、伝田、馬場、他 “集積回路用電子ビーム露光装置の試作”
電気通信学会誌、論文誌（C）、51-C、2、P74（昭 43-3）

著者略歴

東京都出身 1929年6月4日生

1951年	早稲田大学第一理工学部電気工学科卒
1965年	工学博士（東京大学）
1951年 - 1980年	通産省電気試験所（改称後）電子技術総合研究所 勤務
1976年 - 1980年	超LSI共同研究所へ出向、同所所長
1980年－1993年	東京農工大学 教授
1995年	紫綬褒章受章
1993年－2000年	早稲田大学大学院理工学研究科客員教授
2000年－2013年	武田計測先端知財団常任理事
現在	東京農工大学名誉教授

受理日：2016年3月16日
