技術報告

連続多重蒸着装置

志村 秀雄*・林 彪*・益子 誠一**

(昭和39年8月3日受理)

Continuous Multi-Layer Evaporator

Hideo SHIMURA, Takeshi HAYASHI

(Electrical Communication Laboratory, 535, 3-chōme Midori-chō, Musashino, Tokyo)

Seiichi MASHIKO

(Tokyo Vacuum Machinery Co., 819, Yaguchi, Otaku, Tokyo)

In case of depositing multi-Layer thin-film circuits, it is preferable to construct the whole circuit in one evacuation cycle. For this purpose, an evaporator has been designed with many special faculties, which conventional deposition apparatus is not equipped with. This article describes the construction and the evacuation data of this trial product. Principal functions are as follows:

- (1) 15 deposition masks are housed in the deposition chamber, and any given mask can be placed under the substrate.
- (2) Mutual positions between the substrate and the deposition mask are regulated with the accuracy of 10μ .
- (3) Faculties are provided for selecting one evaporation source out of 6, monitoring the deposition rate in the range of $10\sim 500 \text{ \AA}/\text{sec}$, and measuring the film thickness in the range of $0.1\sim 5\mu$.

1. まえがき

最近エレクトロニクスの分野では、電子装置の特性向上、高密度化などを狙いとして、薄膜を複合的に利用した電子回路の実現が試みられている。この場合に蒸着薄膜を用いる方法は、現在の所、最も有力な手段の一つと考えられている。利用される薄膜の種類も、導体薄膜、誘電体薄膜、半導体薄膜、磁性薄膜、超電導体薄膜など多岐にわたっている。

このような薄膜回路は、一般にこれを一挙に作り上げることは出来ず、多数回の蒸着が繰返されて作られる。この場合、一層の蒸着を行なうたびにこれを大気中に取り出すことを繰返しても原理的には可能であるが、必要な層数を真空中で連続的に蒸着することが、次の理由で必要となる場合が多い。(1)一層ごとに排気・蒸着を繰返しては所要の作業時間が層数と共に増大して実用的

でない。(2)たとえば超電導薄膜回路の場合などには、互に重なり合う二導体層を形成するに当って、下層を蒸着後大気にさらしてから上層を蒸着する場合、両者の間に不純物層が形成されて充分な電気的接触が得られない場合が多い。この場合には連続蒸着が特性上絶対不可欠となってくる。

しかしながら、そのためには単純な蒸着装置が持たない種々の機能をもった装置が要求されてくる。ここに報告する多重連続蒸着装置は、このような要求をみたすように計画、製作された一つの試みである。

2. 製作の主要点

多層薄膜回路の製作にあたって一般に行なわれている方法は、まず所望の回路を適当ないくつかのパターンに分解し、それらを定められた順序に従って、それぞれ定められた蒸着材料と蒸着条件によって次々と積重ねて蒸着する。したがって本装置では、なるべく短時間に高真空状態に達し、そのままの状態で多数個の蒸着マスクを

* 日本電機公社、通研（武蔵野市緑町 535）

** 東京真空機械株式会社（大田区矢口町 819）

Fig. 1 Explaining diagram of strokes of the arm carrying the mask.

交換でき、かつ蒸着マスクと蒸着基板の相互位置を必要な精度で制御し、蒸着中には蒸着速度と膜厚を十分に監視出来ることが必要である。このような装置はすでにある程度の試作も試みられているが¹⁾、いずれも不十分である。われわれが装置設計の開始に当たって設定した目標を、以下に、具体的に説明する。

蒸着マスクの交換は、回路を分解したすべてのパターンに相当するマスク枚数を全部取換えることが必要である。この枚数は目的の回路によって異なり、一義的には決められないが、本装置では15枚のマスクを格納し、この中任意の一枚を選んで蒸着基板下に運び、蒸着後再び原位置に格納できることを目標とした。

次にこのようなマスクを利用して蒸着膜が所定の順序に従って積重ねられて行くのであるが、それら相互の位置が狂うと、接続されるべきところが接続されず、また絶縁されるべきところが絶縁されなかったりして、所望の回路が微小化、細密化されるほど、高い精度が要求されるようになる。本装置では一応 20μ の相互位置合せ精度が得られることを目標とした。

次に考慮すべきことは、蒸着室内の真

Fig. 2 Schematic sketch of mask rack.

空度であるが、高真空が得られるほど望ましいこととはいうまでもない。しかし本装置の場合は、蒸着回路が実用的に支障ない価格で製作できることを考えねばならず、また実験によって必要以上の高真空を要しないことも確められていたので、一応 $2 \times 10^{-6} \text{mmHg}$ 程度の到達真空度を目標とした。ただし排気作業開始後この状態に達するまでの所要時間が長くなることは避けねばならぬこと、蒸着作業中にガス放出があっても真空度がほとんど低下しないこと、さらに後に述べるように本装置では蒸着室内に多くの機構と装置が組込まれるために、蒸着室の容積と真空にさらされる面積がかなり大きな値になることなどを考えて、十分に排気速度の大きい排気系を用いることとした。その結果、排気開始後1時間で上記真空度に達することを目標とした。

次々と積重ね蒸着される各層は、回路設計上指定された蒸着速度で規定の膜厚を持たねばならず、一層だけが不良の場合にも致命的な欠陥となる。したがって蒸着作業中に蒸着速度を正しく監視すると共に、所要の膜厚に達すれば、直ちに蒸着を停止することが必要である。膜厚の測定は、蒸着速度が正しく測定されていれば、それを時間積分することによって蒸着中任意の時刻における厚さを知ることができ、所要の膜厚に達した時刻を知ることができる。

以上述べた主要点は本装置製作に当って特に工夫した問題点であるが、このために装置の操作が複雑になり過ぎないように、また事故の発生に対して充分な保安設備を考慮しなければならない。

以下本装置の主要機構であるマスク交換と、これに関連する機構、マスク位置合せ機構および蒸着監視の機構を説明する。

3. 蒸着マスク交換と関連機構

2で述べたような蒸着マスク交換に関する目標を達成するには、種々の方法が考えられるが、本装置ではマスクラック、マスク支持部、マスク運搬アーム、蒸着基板取付台、制御盤などからなる構成とし、次のような方法でマスクラックとマスク支持台との間でマスクを運ぶ。

Fig. 1 はその方法の説明図である。(1)まず使用するマスクを定めて、それが格納されているマスクラックの位置にアームを動かし、さらに少し下げた後、マスクを把む。(2)次にアームを逆に少し上げて後、マスク支持台の上方まで廻転させ、引続いて少し下ろしてマスクを放

Fig. 3 Schematic sketch of mask holder.

す。(8)逆の行程をとって、アームをマスクラックの方へ移す。この後、位置合せを行って蒸着し、使用済みのマスクを(1)~(3)の逆行程で、マスクラックの原位置に戻す。

マスクラックは15段の棚からなるマスク格納部で、おのおの1枚宛マスクを収容する。**Fig. 2** はマスクラックの構造を示す。マスクの選択はアームの高さまで選択すべきマスクを移動することによって行う。制御盤の操作によって蒸着室外に設けたマスクラック駆動モータ①を始動し、そのトルクをギア②、駆動軸、ギア④を介して伝達し、マスクラック支持柱⑤に浴ってラックを上下させる。ラックの側方には、ラックと等間隔に接触片を15枚積重ねた接触片群⑥があり、これと相対してラックと連動する接触子⑦が選択すべきマスクの置かれている棚に対応する接触片と通じる時、駆動モータを停止し、そのマスク位置を確保する。**Fig. 2** は最下段のマスクを選択した状態である。

マスク支持部はマスク支持台、移動ステージ、支持台上下・左右・前後・回転機構からなり、マスクの保持、位置合せを行う。**Fig. 3** はその構造を示す。マスク運搬時

Fig. 4 Schematic sketch of arm carrying mask.

には支持台と基板の間でマスク運搬アームを上下させ、また基板面浄化のため蒸着前に行なうイオンボンバードを効果的にするように基板面を露呈する必要がある、そのため蒸着時にマスクを設定する位置を中心として、支持台を上下させる。この操作はラックとピニオン⑧によって行ない、駆動軸⑨を介して、支持台⑩に連結する上下軸⑪⑫を上下させ、クリックストップ⑬によって位置を固定する。また蒸着時の基板マスク間隔を調整するため、マイクロメータ⑭を用いて上下微動軸⑮を動かす。

マスク全面にわたる位置合せをするために、支持台は左右・前後・回転ができるようになっている。蒸着室外壁に設けた左右駆動用マイクロメータ（図示してない）を操作すると、その駆動軸⑭が動いて、これに接する押板⑮を動かす。押板は移動ステージ⑯の可動側に固定しており、また上下軸に二重軸をなす外軸⑰も同じように可動側に固定してあるので、マイクロメータの回転によって支持台は動かされる。左右・前後動のために互に直交する方向に支持台を動かすようマイクロメータを2箇設けてある。支持台の水平面内移動と上下移動は、両機構の接続部分にボールユニット⑱を用いて、互に拘束しないようにしている。回転機構は図示していないが、支持台上のマスクが置かれる部分を、蒸着室外からフレキシブルシャフトを介して回転する。

マスク運搬アームはマスク支持台とマスクラックの間を、マスクを把んで運ぶが、そのために必要な上下回転は蒸着室外から二重軸を介して行う。Fig. 4 はその構造を示す。制御盤の操作によって上下または回転駆動モータを始動すると、二重軸は上下、または回転して所定の位置へアームを動かす。二重軸上部にエアシリンダを設けてあり、それに圧縮空気を送ってシリンダ内のピストンを動かす。ピストンの動きはそれに連結する二重軸の内軸を通し、さらにレバー⑩、リンク⑫などを経てチャック⑬を閉ぢまたは開いて、マスクを把みまたは放す。

Fig. 5 Schematic diagram of the registering mechanism for evaporating patterns.

Fig. 6 Example of the characteristics of the registering mechanism for evaporating patterns.

基板取付台はマスク支持台付近にあるが、それらの位置の関係が Fig. 3 に示されている。基板を四隅で固定するほか、基板加熱用ヒータを上部に、二隅上部に位置合せ用検出素子を取付けるブロックを持っている。

制御盤では、以上のべたマスクラックの駆動、マスク運搬アームの操作を行う。マスク選択ボタンを押すと、ラックが移動して所定の位置で止まる。止らない場合はラックが上端または下端まで行くから、そこに反転スイッチを設けてラックを逆方向に反転させて事故を防ぐ。アームの上下・回転は、上・下・左・右スイッチによる。それぞれの停止はおのの停止スイッチをアーム駆動用の二重軸に連結させて行う。これらマスク運搬の機構が無秩序に始動すると、たとえばマスクラックが移動中にアームがラックに入ろうとし機構を損傷するようなことが起りうる。このような事故を防ぐため、停止ス

ッチと同様に二重軸に連結する安全スイッチを設け、(1)アームが支持台上方にある時のみラックは動き、(2)アームは少し上った位置にある時のみ回転できるようにになっている。

4. 蒸着マスク位置合せ機構

多重蒸着においてマスクを交換した際、各層パターンを蒸着基板上の所定位置に蒸着するためには、少なくとも3点でマスク位置を正す必要がある。Fig. 5は位置合せ装置の原理図で、このような装置を3組用いる。

基板をはさんで光源と2個のフォト・トランジスタを置き、フォト・トランジスタの光電流を差動増幅器、さらに指示計へと導く。基板に近接して置かれるマスクが、光源からフォト・トランジスタへ向う光線と交わる個所に、位置合せ用基準穴(円形)を設けて置く。フォト・トランジスタ相互の距離、フォト・トランジスタとマスクおよび光源との距離、基準穴の径を適当に選べば、基準穴を通して各フォト・トランジスタに達する光によって生ずる両フォト・トランジスタの光電流が、マスクの移動に応じて相補的に変化するように出来る。したがって差動増幅器を用いて二つの光電流の差を求めれば、基準穴が特定の位置(Fig. 6の0点)にあるとき、この差は零となる。Fig. 6は差電流の実測例を示す。

予めマスク上の基準穴とパターンの関係を定めて置けば、3点でこの状態が得られるとき、マスク相互のパターンの重ね合わせが実現できる。

Fig. 6の差電流の曲線が横軸と交わる付近の傾斜、すなわちマスクの移動に対する差電流の変化は位置検出の感度を表わす。曲線の形はフォト・トランジスタの感度、光量、上述の諸寸法などにより定まるから、増幅器を用いて必要な感度を得るようにした。

ここでは両フォト・トランジスタの中心間隔4mm, フォト・トランジスタ—マスク間の距離6cm, マスク—光源間の距離6cm, 基準穴径1.5φとし、フォト・トランジスタにOS13, 15Wのタングステンランプを用いて、精度1μの位置合せが可能であった。なおフォト・トランジスタの取付ブロックに冷水を流して、素子の劣化、精度の低下を防いだ。

5. 蒸着監視の機構

蒸着中に、多重蒸着の各層の蒸着速度と膜厚を監視するために種々の方法が考案されているが、各種の蒸着材料に適用でき、取扱いも容易なことを目標として、GiededとPerkinsの方法²⁾を用いた。この方法は蒸着物蒸気をフォーゲル型イオンゲージ管類似の測定管で電

Fig. 7 Schematic diagram of the evaporation monitor.

離し、発生するイオン量を測って蒸着速度を求めるものであるが、蒸着時の真空度が極めて高くないと、残留ガスをも電離、測定するため、その分を除く必要がある。そのため蒸着物蒸気からしゃへいした補償管を設け、測定管と補償管のイオン電流との差を得る構成とした。Fig. 7はこの原理図で、差動増幅器で両者の差を求めて蒸着速度指示計で表し、さらに蒸着速度を積分器で時間積分して膜厚を指示計で表す。

蒸着物の種類によって電離定数が異なるため、同一の蒸着速度であっても物質によって発生するイオン電流が変る。たとえば、フォーゲル型イオンゲージ管(電子電流2mA)を用い蒸着源—基板間および蒸着源—測定管間の距離を共に15cmとした場合、蒸着速度に対して発生するイオン電流の割合(単位: $\mu\text{A}/\text{\AA} \cdot \text{sec}^{-1}$)は、われわれが用いるPbで 1.9×10^{-2} , Snで 8.0×10^{-3} , SiOで 2.1×10^{-3} である。残留ガス圧 1×10^{-5} mmHgの場合、イオン電流は0.1μA程度であるから、上記の材料を低速度で蒸着するときには残留ガスの影響を無視できない。したがって差動増幅器には充分な利得と、良好な差動特性を必要とする。

ここでは必要な感度の一部を測定管に負わせるため、電子電流10mAの測定管を用いた。差動増幅器には入力切換回路を設けて、使用する蒸着材料のそれぞれに対して感度調整が出来るようにした。膜厚指示のための積分器は積分時間が約12分(蒸着速度 $10 \text{\AA}/\text{sec}$ において膜厚約 0.7μ に達する時間)以上でやや誤差が大きくなるが、目標の蒸着速度測定範囲 $10 \sim 500 \text{\AA}/\text{sec}$ 、膜厚測定範囲 $0.1 \sim 5 \mu$ では、共に5%以下の誤差で測定できる。

6. その他の機構と結果

装置の主要な機構について3, 4, 5に述べたが、こ

Fig. 8 General-view of the continuous multi-layer evaporator.

こでは、その他の機構とこれらに関してえた結果を述べる。Fig. 8 に装置の全景を示す。

(a) 排気系

マスク交換機構その他の機構を収容するため蒸着室の容積は約 130 l となったが、これを排気するために、低真空排気用として排気速度 1500 l/min, 到達真空度 10^{-3} mmHg 以下の油回転ポンプを、高真空排気用として排気速度 1000 l/sec, 到達真空度 5×10^{-7} mmHg 以下の油拡散ポンプを 2 台並列に、また蒸着室下部に Meissner トラップを設けた。真空度測定は測定範囲が $3 \times 10^{-1} \sim 10^{-7}$ mmHg で、ピラニー管 ($3 \times 10^{-1} \sim 10^{-3}$ mmHg) とフォーゲル管 ($10^{-3} \sim 10^{-7}$ mmHg) を、真空度により自動切換して測定する。その結果、蒸着室を大気圧から 5×10^{-3} mmHg までに排気するに要する時間約 5 分、それから 1×10^{-5} mmHg までに約 40 分を要し、さらにトラップに liq. N_2 を注入して後約 25 分で 2.5×10^{-6} mmHg に達する。真空バルブは圧縮空気によって作動するピストン形のものを用い、排気系各所の真空バルブを予備排気、高真空排気、全閉鎖などの状態に集中制御式に操作する構成にした。そのため真空系の操作が非常に簡易化されて、誤操作による事故は絶無になった。また停電、断水の保安対策として、停電時には真空バルブの自動閉鎖、回転ポンプの自動漏洩、拡散ポンプの急冷、断水時には拡散ポンプの加熱を自動停止するなどの機能を加え、排気系に関しては満足な結果をえた。

(b) 蒸着室

蒸着室内には基板支持台、蒸着マスク支持台（回転部

Fig. 9 Thin-film digital circuit made by the evaporator concerned.

を含む) 蒸着マスク交換機構、蒸着源、その他の機構が、蒸着室外周には内部諸機構の駆動および制御の機構などが設けられている。この装置で用いたマスク交換機構では、マスク交換に際して必要なラックの移動時間がある程度大きくなることは、使用マスク枚数が多いため避けられない。実際には一棚当たり 25 sec の移動時間を要し、12 層蒸着した場合の一例では、一回のマスク交換に平均約 4 分を要した。マスク運搬アームの各停止位置の調整に多少手を費したが、以後マスク交換機構の動作は大体良好である。マスク回転機構は当初回転が円滑さを欠き、そのためマスク位置合せ装置の精度が十分に生かされなかったもので、回転駆動軸を堅固なフレキシブルシャフトにし、また歯車比を大きくしてより微動しうるものに変えた。その結果、製作試料についてパターンのづれを実測したところ、7 cm × 7 cm の基板上で 10μ 以下であることが認められ、充分目標を達成できた。蒸着源は 6 種までの材料が用いられるように、ターレット構造のものを設け、蒸着室外部のハンドルによってターレットを回転し、適当な蒸着源を蒸着基板の鉛直下に配置することができる。基板上の蒸着膜厚の不均一さを 5% 以内にするため、蒸着基板と蒸着源との距離を 25 mm としたが、試料を実測した結果は満足であった。

(c) 試料製作に要する時間

Fig. 9 はこの装置で製作した薄膜回路の一例で、Cr・Pb-Pb-SiO-Sn-Pb-SiO-Pb-Pb-SiO の 9 層からなり、各層の膜厚は Cr 約 1000 Å, Pb 約 1μ , SiO 4000 Å, Sn 4000 Å である。このような試料の製作に要した時間は、高真空到達まで約 1 時間、マスク交換・マスク位置合せ・蒸着を合せ 1 層当たり平均約 15 分を要し、結局上述の 9 層からなる試料の製作に約 3 時間半を要した。更に所要時間を短縮するためには、排気系、マスク交換機構

の改善、位置合せ方法の簡易化が考えられようが、一応われわれの目的は達せられたと思う。

以上紙面の都合で細部に言及できなかったが、主要な機構と結果、改善を施した点を述べた。

7. む す び

以上本装置試作の目的、設計の目標、主要機構の構成と動作原理およびその他の諸機能について述べた。設計の目標はほぼ満足された。すなわち、約1時間で $2.5 \times 10^{-6} \text{mmHg}$ に達し、真空中において15枚の蒸着マスクが任意に交換でき、マスクは 10μ 以下の精度で位置合せ出来た。その結果多層薄膜回路の製作に用いて良好な

成績が得られた。

終りに本装置の試作に御援助をいただいた電気通信研究所の福井電子回路研究室長、東京真空機械株式会社の面矢社長と茂原氏、装置の調整に協力された電気通信研究所の君塚、長谷川および東京真空機械株式会社の各位に御礼申し上げます。

〔文 献〕

- (1) Automatic Control 14, No. 3 52 (1961) .
- (2) G. Gieded and M. Perkins, Rev. Sci. Instr. 31, No. 7, 773 (1960) .

図 書 紹 介

“ライボルト真空ノート” (1962年改訂版)

(Leybold Vakuum-Taschenbuch) by K. Diels and R. Jaeckel Springer-Verlag, Berlin.

本書の初版は1958年、また改訂第二版は1962年に出版されて、4年間にすっかり書き改められている。ちょうど Jaeckel の死後数ヶ月後に出版されたことになる。

全頁数は366頁であって大別して真空物理(1~137頁)、真空工学(138~265頁)および文献目録(266~357)の3部からなっている。

次に内容と紙数割当を表にしてみると、真空物理の章では、

用語とシンボル	9 頁
気体運動論中の大切な式と表	9 頁
流れの現象 1) 流れの抵抗、層流、分子流	12 頁
2) 計算図表	6 頁
3) ノズルからの噴射の熱力学と 超音速流	16 頁
ポンプの選択規準	18 頁
蒸気の排気(ガスバラストとコンデンサ)	14.5 頁
冷却トラップ、バッフル及び吸着トラップ	6 頁
イオンゲッターポンプ	4 頁
真空計(特長、欠点、測定範囲などについて) ..	12 頁
分圧測定器	6 頁
漏れ捜しの方法	5.5 頁
超高真空(作り方、測定器、バルブなど)	18 頁

第二章の真空工学では真空用部品について主として自社製品を中心として記述している。

内容は

フランジ結合、可撓結合、バルブ、電流導入線封じ、 回転封じ、ガasket封じなど	26 頁
材料については図表を主にして 金属、ガラス、石英、マイカ、セラミック、 油、グリース	48 頁
蒸気圧、沸点、融点	14 頁
ガス透過度	10 頁
ガス放出	13 頁
ゲッター	9 頁

文献目録については92頁をさいて各項目別に分類している。文献調査には非常に都合である。例えばポンプの文献は1) 回転ポンプ、2) ルーツポンプ、3) 蒸気噴射ポンプ、4) 拡散ポンプ、5) 水銀ポンプ、6) 油拡散ポンプ、7) 分子ポンプ、8) ガスパラストポンプ(蒸気の排気)と項目別になっている。真空計についても同様に計器別に詳細に文献を挙げている。

真空処理技術についても、1) 蒸着、2) 冶金、炉、3) 含浸、4) 蒸溜、5) 乾燥、6) 原子核物理と分類しており、その他構造材料については1) ガラス、2) 金属、3) ガス放出、4) ゲッターについて、また応用部門では1) 化学工業、2) 電気工学、3) 電球、真空管、4) 生物学、生理学と分類されている。(浅尾)