綜 説

電子ビーム微細加工装置

難 波 進*

(昭和36年11月20日受理)

Electron Beam Milling Machine

Susumu NAMBA

(The Institute of Physical and Chemical Research, Komagome-Fujimaecho, Bunkyo-ku, Tokyo)

1. は し が き

真空中における電子の挙動を制御する技術は、今世紀前半に非常な進歩をとげ、今日のエレクトロニクス発展の基盤になってきたが、電子が物質に衝突したときに発生する熱量を工業的に利用しようとする技術は、ほとんど開発されなかった。ところが、最近になって、電子ビーム加熱の応用が急速に発展しつつあり、高融点金属の溶解、溶接、微細加工への応用が開発されてきた。

高速度に加速された電子ビームを金属に衝突させることは、従来よく使われてきた技術である。たとえばX線発生用の真空管は、加熱されたタングステンカソードからでた熱電子を、数万ボルトに加速して陽極であるタングステンターゲットに衝突させることにより、X線を発生させている。また電子シンクロtronや電子リニアアクセラレータなども、高エネルギーに加速された電子ビームを金属板的にあてて、そのとき出てくるγ線を利用する。このような場合、衝突した電子の運動エネルギーの大部分が熱エネルギーに変わって金属を加熱するので、的の冷却には非常に苦心している。X線の実験中に断水してターゲットを溶かした経験のある研究者はかなりいるはずである。このような電子ビームのもつ加熱作用を逆用したものが、電子ビーム加工装置であり、原理的には決して新しいことではない。しかし最近になって、従来の機械加工や放電加工、超音波加工などでは到達できないような微細加工が要求されたために、この要求に答える新しい技術として、電子ビーム加工法が世の注目をあびてきた訳である。

本稿では、電子ビームによる微細加工について解説する訳であるが、この加工法は西ドイツ Carl Zeiss社の技術陣により1949年頃からぼつぼつ研究され始め、

1953年頃から系統的な研究が進められたようである。現在加工装置として市販されているのはCarl Zeiss社製のものだけである。

日本では、昭和35年1月に「荷電粒子ビームの工業応用に関する研究会」が発足し、学界、業界から多数の研究者が参加し、隔月に研究会を開き、電子ビーム加熱の応用に関して活発な討論を続けているが、まだ実験装置を持って研究している個所が少ないのが現状である。理化学研究所では、昭和35年度通産省補助金により、電子ビーム微細加工装置を試作し、目下実験中であるが、まだ期待通りの性能をうるまでに至っていない。

2. 電子ビーム加工の原理

電子ビームとは非常に大きな運動エネルギーをもって、一定方向に流れている電子の集まりであり、固体に衝突すると運動エネルギーのほとんど百パーセントが熱に変えられる。したがって電子ビームを非常に細くしぼり、固体表面に焦点を結ばせると、小面積に非常に大きなエネルギーを集中でき、電子ビームのあたっているところは、超高温となり、材料がどんどん蒸発してゆき、加工が行なわれる。

衝突した点に電子ビームが与えるエネルギー量は簡単に計算される。いま電子の加速電圧を V ボルト、電子電流を I アンペア、衝撃点における電子ビームの断面積を $A \text{ cm}^2$ とすると、その点に与えられるエネルギー密度 W は

$$W = VI/A \text{ Watt/cm}^2 \dots\dots\dots (1)$$

である。たとえば、 $V=100\text{kV}$ 、 $I=1\text{mA}$ 、 $A=2 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$ (電子ビームの直径約 50μ) とすると、 $W=5 \times 10^6 \text{ Watt/cm}^2$ となり、非常に大きなエネルギーが小面積に集中されることになる。比較のために、いろいろの熱源によりえられる最大エネルギー密度を計算してみると第1表のようになる。

* 理化学研究所 (東京都文京区駒込富士前町)

第1表 各種の熱源よりえられる最大エネルギー密度

熱 源	最小加熱断面積 (cm^2)	最大エネルギー密度 (W/cm^2)
焰	10^{-2}	10^4
アーク	10^{-3}	10^5
電子ビーム	10^{-7}	10^9

S: 電子ビーム、 q_1 : 蒸発に必要なエネルギー
 q_2 : 輻射により失われるエネルギー
 q_3 : 熱伝導により失われるエネルギー

第1図 電子ビームによる材料加工の過程

N_{1-5} : q_{1-5} に対応する

第2図 毎秒加工点から逃げてゆくエネルギー量

電子ビームで材料を加工してゆくときの過程を考えてみよう。第1図で厚さ r の斜線の部分は、電子ビーム S をうけて温度 T になっている加工面である。電子は材料表面の薄い層を貫通して、そのエネルギーを熱に変えて材料を加熱するが、電子のエネルギーは、すべて厚さ r の層内で吸収されるとする。定常過程において、加工面の温度を一定に保つために、どれだけのエネルギーを供給してやればよいか図に示されている。すなわち、材料を蒸発させるに必要なエネルギー量 $q_1 \sim q_3$ (q_1 は温度 T における蒸発熱、 q_2 は温度 T まで材料を加熱するに必要な熱量、 q_3 は溶解熱)、加熱されている加工面から輻射で失われるエネルギー量 q_4 、材料中に熱伝導により失

れるエネルギー量 q_5 を加えたものが必要な全エネルギー量である。銅を加工する場合に1秒間に逃げてゆくエネルギー量 $N_1 \sim N_5$ (添字 1 ~ 5 は $q_1 \sim q_5$ に対応する) を加工面の温度 T の関数として図示すると第2図のようになる。この図は、厚さ 1cm の銅板 (横の寸法数 cm) の上の 0.01mm^2 の面積が温度 T になっており、板の下面は室温に保たれている場合の計算である。加工は材料の蒸発により行なわれるのであるから、実際に加工に使われるエネルギー量 $N_1 + N_2 + N_3$ が熱伝導による損失 N_5 をはるかに上廻ることが必要である。もし、 $N_5 > N_1 + N_2 + N_3$ であると、加工能率が非常に悪く、また加工部分のまわりがとけてすりはち状になり、よい結果がえられない。しかし、 T が大きくなると、蒸気圧が急上昇するため N_1 , N_2 が対数的に大きくなり、 N_5 をはるかにこえることになる。この図から、電子ビーム加工は非常に高温において、能率よく行なわれることがわかる。

加工点が高温になると、自然その周辺の温度も上昇する。したがって加工点からある距離以内では、材料は熱的に変質していると考えねばならない。いま加工点より 4μ の距離の点の温度が 900°K をこえないという条件下 (この条件下では、實際上加工点周囲の材料の変質が無視される程度となる) で計算してみると N_5 は N_5^* となり、加工温度を非常に高くとらねばならないことにな

第3図 加工面の温度分布の経時変化

る。このことは、連続的に電子ビームを照射する定常過程では、加工点周辺の材料の変質をなくするような加工が実際上不可能に近いことを示している。

以上のようなことを考えると、特別の場合は別として電子ビームによる材料加工は、非定常的な過程、すなわち電子ビームをパルス的に照射するときだけ満足な結果が得られることがわかる。電子ビームの断続照射は、電子ビーム加工における一番の要点であり、Carl Zeiss 社も、この点を特許でおさえている。

電子ビームを連続照射した場合と断続照射した場合とで、加工物表面における温度分布を比較すると 第3図 のようになる。電子ビームがあたった直後 t_0 には、いずれの場合も円形の加工面(8)内の非常に薄い材料層だけが加熱され、そのときの温度分布は(8)の上の長方形となる。しかし、時間が $t_1-t_2-t_3-t_4$ と経過するにつれて、熱伝導により加工面以外の部分の温度が上がりだし、連続照射の場合は(a)図に示される(4)-(5)-(6)-(7)の温度分布をとり、最後に平衡状態に達する。これに反し、断続照射の場合は(b)図に示されるように、 t_0-t_2 間の電子ビームがあたっている時間は(10)-(11)のように(a)図の(4)-(5)と同じような温度分布をとるが、ここで照射が遮断されると、その後の温度分布は(12)-(13)のようになり、加工物全体の温度が下がる。このような過程が繰返されるので、結局は点線(14)であらわしたような温度分布をとることになる。 T_s を材料の熔融温度とすると、(a)図の場合は加工点の周囲はかなりの範囲の材料が溶解するのに対し、(b)図の場合は電子ビームの幾何学的形状とほぼ一致した加工ができ、かつ、加工点の周囲の温度上昇も少なく、パルスを使用した効果ははっきりとてている。電子ビームをあてている時間(パルス巾)と休んでいる時間との関係は、加工材料の熱的性質により最適値を見出すことが望ましいが、一般にパルス巾を短くし、パルス間隔を長くした方が良い結果が得られるようである。ステンレスの場合、パルス巾 20 μ sec, パルス間隔 1msecで加工している例がある。また、広い加工面上を連続的な電子ビームでスワイプすることにより、パルスを使ったのと同様な効果が得られる。したがって、たとえば細いスリットを加工したりする場合は、電子ビームをスワイプして行なうので別にパルスにする必要はない。

ジルコニウムに電子ビームを一定時間照射したときの表面温度分布を計算した例を第4図に示した⁽⁶⁾。パルス間隔を 20msecにきめて、パルス巾をいろいろに変えたときの計算例であるが、パルス巾が 10 μ secでは表面の温度上昇はほとんど電子ビームの径(3mm)と同じであることがわかる。これに反し、パルス巾が 10msecで

第4図 電子ビームを1秒間照射した後の表面温度分布

は電子ビームの径に比較してかなり広い範囲に温度上昇がおこっている。

次に、電子ビームが加工面にあたったときの衝突圧力と、材料内部への電子の透過性について考えよう。電子が固体に衝突したとき、運動エネルギーを熱にかえるだけでなく、その運動量も失う。電子が失った運動量は衝突圧力となる。加工面に毎秒 γ 個の電子が速度 v で衝突すると、圧力 P は次式で与えられる。

$$P = \gamma \cdot m \cdot v \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 m は電子の質量である。

電流密度を j , 加速電圧を V とすると、

$$P = j \sqrt{\frac{2m}{e}} V = W \sqrt{\frac{2m}{e}} \frac{1}{V} \dots\dots\dots (3)$$

となる。ただし、 $W = jV$ (Watt) である。

いま前の例と同じく $V = 100\text{kV}$, $I = 1\text{mA}$, $A = 2 \times 10^{-5}\text{cm}^2$ とすると、 $j = 50\text{A/cm}^2$, $W = 5 \times 10^6\text{W/cm}^2$ であるから、

$$P = 5000\text{dyne/cm}^2 = 5\text{g/cm}^2$$

となる。これはせいせい 1/200気圧程度であり、電子ビームの加工面に対する圧力は非常に小さいことがわかる。

しかし、溶接の場合のように、加工面上に熔融プールができており、その上に電子ビームが照射されるようなときは、この程度の圧力でも電子ビームが当たっている面がかなり深くくぼむ筈であり、電子ビーム溶接の大きな特長である溶接帯の深い侵入度の一因は、電子ビームの加工面に対する圧力にあるのではないかと考えられる。

電子の透過の深さ S は加速電圧 5~100kVの範囲内では、次式で与えられる。

$$S = 2.1 \times 10^{-12} \frac{V^2}{\rho} (\text{cm}) \dots\dots\dots (4)$$

V : 加速電圧(Volt), ρ : 密度 (g/cm^3)

加電圧：100kV，材料：タングステン

第5図 電子ビームの侵入深さとエネルギー損失の関係

100kV の加速電圧のとき、タングステンでは、 $S=11\mu$ 、アルミニウムでは $S=77.5\mu$ となり、電子はかなり深く滲透していることになる。電子は数百Å ($1\text{\AA}=10^{-8}\text{cm}$) の表面層をほとんどエネルギー損失なしに突きぬけて、その下 数 μ ～数10 μ の層内で運動エネルギーを熱にかえ、この層を加熱する。100kV で加速された電子がタングステンに衝突したとき、電子のもつエネルギーがどのように消費されるかを電子の滲透深さの函数として図示すると第5図のようになる。また、 10^7W/cm^2 程度のエネルギーをもった電子ビームが、タングステン表面の約10 μ の厚さで吸収されると、その部分は約 10^{-6} 秒で融点 (3650°K) に到達する計算になる。したがって、パルスビームによる加工の場合には、表面の薄い層は内側から熱伝導により加熱されて蒸発するよりも、むしろ内側が急に蒸発温度以上に加熱され、盛んに蒸発をはじめるので、内側からの圧力で表面層ははねとばされると考えた方がよいのではないと思われる。

電子ビーム加工装置

第6図は Carl Zeiss社製の電子ビーム加工装置の外観であり、中央が加工装置本体、向って左側が高压電源、右側が電子ビームの偏向制御系である。本体は電子ビームを通ずる鏡筒と、試料をのせて精密に移動できるようになった試料装置と真空系からなっており、機の両側に電子ビームの焦点合せ、軸合せ、電子電流、陽極電圧等の調整装置が組みこまれている。高压電源は高周波発振器方式であり、十分に安定化されている。高速度に加速された電子ビームが、固体に衝突すると X線がでるので、鏡筒の内側は鉛ばりになっており、またのぞき窓はすべて鉛ガラスで作られ、外にX線が出てこないようになっている。

第7図は加工装置の構成図であり、上から順次に電子ビームを出す電子銃、ビーム軸合せ用の2組の電磁コイル、絞り、電子ビームの形を補正するための電磁コイル(スティグマトール)、電子ビーム収束用の電子レン

第6図 カール・ツァイス社製電子ビーム加工装置

第7図 電子ビーム加工装置の構成図

ズ、ビーム偏向用電磁コイル、試料台、と並んでおり電子ビームが丁度試料の中心に焦点を結ぶように調整される。電子銃は細い電子ビームが出てくるような特殊設計になっており、ビーム電流はバイアス電圧を加減することにより調整される。陽極は鏡筒と同電位になって接地されており、カソードに負の電子加速用高電圧がかかっている。ビームは2組のコイルにより鏡筒の中心軸と合致するよう調整され、絞りにより形をととのえる。ヘアピン状のタングステンカソードを使用しているため、電子ビームの断面は楕円形をしており、それを円形にするためスティグマトールと呼ばれる電磁コイルがおかれている。電子レンズは、試料の上に電子ビームの焦点を結ばせるためのものであり、非常に小さいスポットにビームを集めることができ、また焦点距離はコイルに流す電

この装置は加速電圧25~150kV, 電子電流 0~0.8mA
で動作し、電子ビームは連続的にもパルスのにもで
るようになってゐる。パルスの繰返し周波数は50~
10,000cps, パルス巾は2~70μsecの間で調整できる。

電子ビームによる加工の一番の要点である電子ビームのパルス化は、次のようにして行なっている。第8図はその構成図であり、正のパルス電圧が負の直流バイアスと重畳して、ヒータと制御電極の間に加えられるようになっている。普通の状態では、制御電極に負の大きな直流バイアスがかかり、cut-off になっているが、パルス電圧が加えられた時間だけ 適当な強さの パルス電流が流れる。パルス電圧は パルス トランスを通して加えられるが、このトランスの1次側は、接地電位であるにもかかわらず、2次側は非常に高電圧となるので、十分絶縁されていなければならない。また、使用するパルスの繰返し周波数およびパルス巾が広範囲に変化するから、広帯域のパルス トランスを設計しなければならないし、配線ケーブルの容量もできるだけ小さくする必要がある。このため、実際の装置では電子銃の真上にパルス トランスにおいて、できるだけケーブルを短くするような注意がはらわれている。

第9図は理化学研究所および日本電子株式会社が協力して試作した電子ビーム加工装置*の外観であり、まだ実験装置の域を出ていない。この装置の仕様は、最高加速電圧50kV、最大電子電流10mA、電子ビームの最小直径 $10\mu\phi$ 、パルスの繰返し周波数1~10,000 cps、パルス巾 $50\mu\text{sec}$ ~500msec、電子ビームの偏向XY軸共最大 $\pm 1.3\text{mm}$ である。Carl Zeiss社製の装置との主な相違点は加速電圧が低いことと電子ビームの偏向に静電偏向を採用している点である。現在試作装置に関するいろいろな実験を行なっているが、まだ予期した通りの性能をえていない段階であるので、詳しい報告は後日にゆずる。

電子ビームの径より大きい種々の形の穴をあけたり、試料の表面を処理したりするためには、ビームと試料を相対的に移動させることが必要である。電子ビームを余り大きく移動させることは、収差が大きくなって無理であるから、大きな移動は電子ビームを固定して試料を動かし、逆に小さい移動のときは、試料を固定して電子ビームを移動させるが、両方を同時に移動させることも多い。

工業が進歩するにつれて微細加工に対する要求が高まってくるのは当然のなりゆきであるが、また一方いまま

140

では微細加工の方法がなかったために、やりたくてもできなかった分野がかなりある。

たとえば合成繊維用ノズルを考えてみても、従来の方法では孔径に限界があり、またあけられる孔も円いものにかぎられていた。変わった形の小さいノズルが作ればという要求は随分昔からあったはずである。また時計工業においても、たくさん使う宝石軸受の孔あけ加工が一番のネックになっており、加工時間を短縮することが切実に要求されている。この他にも、これに類した問題がたくさんあると思われるが、電子ビーム加工の出現により或程度解決されようとしている。

しかし、電子ビーム加工法の開発に最も大きな期待をよせているのは、マイクロエレクトロニクスの分野であろう。この分野で最近急速に進展しつつある技術の1つは、マイクロモジュールという言葉でよばれている電子装置の超小型化であり、1立方フィートに100万個以上の回路素子を含ませるべく研究が進められている。人工衛星やミサイルに積載される電子装置は超小型であること、信頼性が高いことが最も要求されるわけであるが、同時に生産コストを下げることも大きな問題となっている。これら3つの要求を同時に解決してくれる可能性をもつ新しい技術として、電子ビーム加工に大きな期待がよせられているわけであるが、現在はまだ可能性の段階であって、使えるかどうかは今後の問題である。しかし、電子ビーム加工装置を開発して行こうとする技術者は、そのような可能性を念頭において研究を進めていかなければならない。

回路素子を小型化するための有力な手段として真空蒸着技術が使われているが、蒸着膜に適当な模様(パターン)をもたすことがしばしば要求される。このため従来はマスクを通してのパターン蒸着や、化学的方法によるパターン腐蝕法が利用されてきたが、電子ビーム加熱で膜の一部を蒸発させて非常に細かい再現性のよいパターンを作ることができる。このような用途は精度の向上、労力の節約になるばかりでなく、蒸着素子の製作をオートメーション化できる可能性をもっている。

さらに一步進んで電子ビーム加工を固態回路の製作に利用した場合を考えてみよう。原材料として加工台の上のせて真空中に入れられた半導体単結晶片は適当な形に加工され、特定の物質を一定の形に蒸着され、ある部分は加熱して合金化され、不必要な部分は蒸発により取りざられ、最後に完全にハーメチックシールされて、メタルケースと溶接されたのちに真空中に取り出される。これらの操作はすべてテープ・コントロールされた電子ビームにより行なわれ、機械的加工は全く使われない、真空蒸着用には比較的パワーの大きい1~2mmφの電

子ビームを、加工用にはパワーの小さい10~20μφの電子ビームを使用して、これらを同じ真空槽中で同時にプログラムに従って操作し固態回路製作のオートメーション化をはかろうということが、真剣に電子工業界において考えられているのである。これはかなり将来の話であるが、もっと身近な問題、たとえばメサ形トランジスタの製作を考えてみても、電子ビーム加工の特長を生かした応用がたくさんあることが予想される。

5. 加工例

いままでの説明でもわかるように、電子ビーム加工法は、次のような特長をもっている。

- (1) 従来の方法では不可能なような微細加工ができる。
- (2) 真空中の加工であるから加工中における材料の汚染が少ない。
- (3) かなり高温にできるので、高融点材料の加工ができる。
- (4) 加工物が金属材料であっても非金属材料であっても同一の装置で加工できる。
- (5) 加工工具は電子ビームであるから腐蝕しない。
- (6) 加工進行中に電子ビームの径を任意に変えることができるので特殊加工に使える。
- (7) 電子ビームの偏向制御が電氣的に簡単にできるので特殊形状の加工ができる。
- (8) 加工圧力が小さい。

これらの特長を生かした種々の応用が開発されつつあり、その数例を以下にのべる。

(1) 金属の加工

金属の加工例としては合成繊維用の円形または任意形状のノズル類(第10図)、真空蒸着用マスク、カラーテレビ用ブラウン管のシャドウマスクやグリッド等があげられる。Carl Zeiss 社製の装置での最適動作範囲は材料によりある程度異なるが、大体次のようである。

丸孔	50μ~200μφ
みぞ	50μ~100μφ, 1mm~2mm長さ
深さ	0.5mm~1mm
加工精度	±5μ

しかし、多少加工能率を犠牲にすると、この範囲以外でも使え、最小の孔としては2~3μφのものがあけられる。孔は多少ロウト状になるが、縁の傾斜は約1度であり大して問題にはならない。深さと孔径の比率は10:1が普通であり、特殊な材料で非常に小さい孔の場合は20:1までできる。0.6mm厚のステンレスの例をとると加速電圧100kV、電子電流160μA、パルス繰返し1000cps、パルス巾20secで孔あけができる。

第10図 厚さ 0.5mm の銅に種々の特殊形状の孔あけをした例 (最小スリット巾 50μ , スリットの長さ 0.5~1mm)

第11図 時計用宝石軸受の加工例

第12図 10mm の厚さのガラスにラッパ状の孔あけした例

加工速度の一例をあげると、0.5mm厚の銅板に巾 50μ 長さ 3mm のスリットをきるのに、だいたい20~30秒を要する。しかし最初の5秒ぐらいで材料の90%は取り去られており、その速さは0.1mg/sec位である。その残りの時間は加工辺をきれいにしたり、加工精度をあげたりするために費される。

第13図 8mm角のセラミックス板に作られたマイクロモジュール用抵抗体 (加工線の巾は 10μ)

第14図 ゲルマニウムに加工した例

(2) セラミックスや貴石類の加工

このようなもろい材料の場合、電子ビームがあたった場所が局部的に加熱されるため、熱歪により材料がこわれるおそれがある。それをさけるために試料室の中に小さい炉、または簡単な予備加熱用電子銃を用意し、試料を予備加熱する必要がある。試料の帯電は大して問題になっていないようである。第11図は時計用宝石軸受の加工例であり1コあたり数秒で孔あけできるといわれている。第12図はガラスに特殊形状の孔あけをした例であり穴あけの進行につれて電子ビームの径を変化させていくと、このような他の加工法では不可能な妙な加工ができる。

(3) 電子回路素子の加工

電子ビーム加工の最も重要な応用は、マイクロ・エレクトロニクス部品の微細加工であり、このためのいろいろな研究が進められている。

第13図はマイクロ・モジュール用抵抗素子であり、セラミックベース上にニクロム合金を約 $100\text{\AA}$ の厚さに蒸着し、その上に電子ビーム加工により卍字型の線を切り、所定の抵抗値にしたものである。電子ビームが通っ

たあとは、蒸着膜が再蒸発してなくなるので、線の切り方により種々の抵抗値のものがえられる。

電子ビーム加工は熱加工であるから、半導体に応用した場合、物質表面が損傷されるという欠点があるが、その影響がどの程度広がるかということは実験的に確かめなければならない重要な問題である。第14図はゲルマニウムを加工した例を示しており、加工点周辺がかなりの範囲損傷をうけていることがわかる。孔のまわりの再固化したところは、かなりの歪が入っているにもかかわらず、内側ははじめの結晶格子と同じ方向性をもって再結晶していることが確かめられている。

フェライトの加工は非常に綺麗にできるようであり、今後の応用が期待されるところである。

電子ビーム加熱により $p-n$ 接合を作った例もある。半導体表面に不純物の薄層を蒸着し、合金化するために局所的に電子ビームで加熱し、合金化しない薄層は腐蝕により除去するという方法である。このようにして 5μ 程度の $p-n$ 接合を作ることができる。

6. あとがき

以上、電子ビーム加工装置につき説明したが、この加工法は従来の機械加工や放電加工、超音波加工などにとっかわるという性格のものではなく、むしろ従来の加工法でできなかった分野を補うような性格をもっている。たとえば、 10μ 以下の超微細加工とか、材料の汚染

を極端にきらい加工とかに偉力を発揮するのであって、決して大きな材料の加工などに使えるわけのものではない。真空中でしか操作できないということは電子ビーム加工法のもつ宿命的欠点でもあるし、また大きな長所でもある。最近、この加工法に大きな期待をよせているのは半導体加工の分野であるから、この場合は真空中での操作が必要条件となってくる。真空技術が非常に進歩してくると、電子ビームを真空外に取り出して使うようなこともあるいは可能となってくるかもしれない。開発途上にある電子ビーム加工法を、産業界の期待に沿う段階まで早急にもってゆくことがわれわれ専門技術者に課せられた使命であろう。

〔文 献〕

- (1) W. Opitz : *Proc. Second Symposium on Electron Beam Processes* (Alloyd Corporation), p. 32, (1960)
- (2) K. H. Steigerwald : *Proc. Third Symposium on Electron Beam Processes* (Alloyd Corporation) p. 296, (1961)
- (3) O. C. Wells : *ibid.* p. 291
- (4) E. B. Bas, G. Cremosnik : *Vak.-Tech.* 8, 181 (1959)
- (5) 荷電ビーム研究会資料 No. 1~No. 36
- (6) 永見初太郎：荷電ビーム研究会資料 No. 22

合本用ファイルをご利用下さい

ピン1本で簡単に、そして美しく、1カ年分を合本出来る独特のものです。

書棚を飾るにも、本誌の整理にも、是非必要なファイル。

頒価 1部 150円 送料 40円

お申込み先

東京都中央区日本橋兜町3の5三共ビル内(旧米山ビル)

真空協会合本係

電 話 4 3 2 7 番