電子ビームによる半導体の加工

防衛大学校電気工学教室 藤 本 良 三

戸 嶋 成 忠

Electron Beam Processes for Semi-Conductor Application

Ryozo FUJIMOTO, Shigetada TOSHIMA
(Dept. of Electrical Engineering,
The Defense Academy)

Recently, the industrial applications of electron-beam melting, such as welding, evaporation, cutting of thin film resistor and working of semi-conductor, have developed rapidly.

But electron-beam machines have complex structure, and it is considerably difficult to operate.

The authors designed the simple electron-beam machine for trial, and worked semi-conductors.

The experimental results and discussions are as follows;

1) Cracks of high melting point materials by D.C electron-beam compared with pulsed beams: the former is bigger about twice or three times than the latter, and shows about twice in depth.

2) By electron-beam bombardment to N-type Ge single crystals are formed miniature recrystallizations.

And this part of recrystallization converted N-type to P-type.

The authors studied electrical characteristics of them.

3) By electron-beam welding alloyed In with N-type Ge, and

observed V-I characteristics of P-N junction.

4) As application of electron-beam spot welding, made InSb alloy on N-type Ge single crystal by way of experiment, and obtained the growth of tiny InSb crystals like small branch.

1. ま え が き

電子ビーム加工法は¹⁾電気加工の一分野としてとくに高融点材料の熔接、熔解および微細加工などに用いられている。さらに、電子ビームはその特長として微少部分にエネルギーを集中できるので、薄膜回路、リード接続などマイクロエレクトロニクスへの応用が考えられている。

しかしながら、電子ビーム加工機自体が複雑で高価であり、加工が真空中で行われるため取扱いが容易でないなど、その経済性を考える場合現状では決して十分であるとはいえない。したがって、これからのマイクロエレクトロニクスへの応用をより広範囲に考える場合、電子ビーム装置を小型、簡易化して取扱いを容易にするとともに、それぞれの応用部門において、電子ビーム衝撃の諸条件の決定を行わなければならない。

筆者らは、電子ビーム装置の小型、簡易化を主眼として加工機の試作を行い、この試作電子ビーム装置の応用面への開発の一つとして、高融点材料にビーム加工を行うとき生じる加工歪ならびに半導体材料へのビーム衝撃効果について検討を行ったのでその結果について報告する。

2. 試 作 装 置

図1に筆者らが試作した電子ビーム装置の外観を示す。すなわち、電子ビームを発生する電子銃部、試料加工室およびこれらを排気するための真空系などからなる本体と、フィラメント加熱用電源、電子ビーム加速用高压電源、ビーム制御用バイアス電源、電磁レンズ用電源およびビーム偏向用電源などから構成されている。

本装置では、簡易型における限界と可能性との検討を行うため装置の自動化は行わず、手動を主とした。

図1 試作電子ビーム装置

2.1 電子銃部および試料室

図2に電子銃部の外観を、また図3にウェネルトと加速電極の外観を示した。電子銃部のフィラメント、ウェネルト（グリッド）電極およびアノード電極はいずれも交換可能であり、電極間を最大10 mmの範囲で微細に変えることができる。フィラメントは、 $0.2\text{ mm}\phi$ のタングステン線をヘアピン型にしたものを用い、電子放射の方向は調節ネジにより微細に可変できる構造とした。

高電圧の絶縁には耐圧100 kVのバイレックスガラスを用い、頭部にコロナリングを設置した。また、電子ビーム集束用の電磁レンズは本実験では1段として用いたが、とくに微細加工を行う場合を考慮して2段として用いられるような構造とした。

試料室は円筒形で直径300 mm、高さ250 mmの大きさを有し、内部は電子ビーム偏向用電極ならびにその他の測定器具がとりつけられるのに十分な大きさとした。

室内の試料台は $80 \times 80\text{ mm}$ の大きさで、XYZの3軸方向に手で微移動が可能である。試料室の前面は、厚さ10 mmの鉛ガラスを用いた円形の窓になっており、また、この部分は交換可能で必要に応じて光学顕微鏡および測定端子付の窓にすることもできる。なお、陽極電流 $I_p = 500\text{ }\mu\text{A}$ 一定とし加速電圧を変え、厚さ0.5 mmのモリブデン板に電子ビームを衝撃したとき、試料室外に漏えいするX線を線量計で測定したところ、ほとんど影響のないことが知れた。

電子銃部と試料室とは2台の油拡散ポンプにより $4 \times 10^{-5} \sim 10^{-6}\text{ torr}$ に保持され、真空度は電離真空計で常に監視する。

2.2 電源部

電子ビーム加速用として、最大出力電圧70 kV、陽極電流800 μA の安定化された高電圧直流電源を用い、フィラメント用電源が同一筐体に設置してある。

電子ビーム流制御用のバイアス電源は、最大出力直流-500 Vまでを連続可変とし、さらにパルス

図2 電子銃部分

(a) ウェネルト電極

(b) 加速電極

図3 電子銃部分

重畳してパルスビームを発生できるように、パルス発生器が組込まれている。

ビーム集束用電磁レンズ電源の定格は、電流40～100 mAを連続可変にしてビームを任意の径に集束することができる。そして、電磁レンズ電源および加速用高電圧電源の安定度は 10^{-4} である。

電子ビームの偏向は静電方式で、その走査速度は $5 \frac{mm}{s}$ まで可変できる。

3. 実 験

3.1 高融点材料の加工

高融点材料の穿孔加工についてはすでに数多くのデータが報告^{1) 2)}されているが、筆者らは、試作の小電力小型機による直流ビームとパルスビームとにより生じる加工ひずみ、とくにクラックについて比較観察を行った。

図4は、加速電圧 $V_p = 70 \text{ kV}$ 、陽極電流 $I_p = 500 \mu\text{A}$ とし厚さ 0.05 mm のタンタル板を加工した場合の1例である。電子ビームの照射時間は20秒で完全に穿孔が行われ、その穿孔後の直径は 30μ である。図中、加工孔の周囲に比較的大きいクラックが認められる。

また、厚さ 0.05 mm のモリブデン板に、加速電圧 $V_p = 40 \text{ kV}$ 、陽極電流 $I_p = 500 \mu\text{A}$ とし直流ビームとパルスビームとにより生じるクラックについて図5に示す。

図5(a)は直流ビーム、(b)はパルス幅 10 ms 、くり返し周波数 100 Hz 、(c)はパルス幅 $100 \mu\text{s}$ 、くり返し周波数 10 kHz の場合である。図より、それぞれの

加速電圧 $V_p = 70 \text{ kV}$
陽極電流 $I_p = 500 \mu\text{A}$
衝撃時間 $t = 20 \text{ 秒}$
タンタル 0.05 mm

図4 電子ビームによる加工穴の一例

(a) 加速電圧 $V_p = 40 \text{ kV}$
陽極電流 $I_p = 500 \mu\text{A}$
衝撃時間 $t = 15 \text{ 秒}$

(b) 加速電圧 $V_p = 40 \text{ kV}$
陽極電流 $I_p = 500 \mu\text{A}$
パルス幅 $10 \mu\text{s}$
周波数 100 Hz
衝撃時間 $t = 15 \text{ 秒}$

(c) 40 kV , $500 \mu\text{A}$, 15 秒
パルス幅 $100 \mu\text{s}$
周波数 10 kHz

図5 パルスビームと連続ビームのクラックの比較(試料;モリブデン 0.05 mm)

クラックの様相は異なり、直流ビームによるクラックは衝撃中心点より周囲にむかって比較的太いクラックが伸びる。そして、パルスビームによるクラックと比較すれば約2～3倍の太さであり、その深さも約2倍程であることが観察された。また、クラックは電子ビームの衝撃時間が大になるに従い増加する。これ

(a) $t = 25$ 秒

(b) $t = 35$ 秒

(c) $t = 50$ 秒

パルス条件
(40 kV, 800 μ A
パルス幅1ms, 周波数1 k Hz)

試料
(モリブデン 0.05 mm)

図6 パルスビームによる衝撃痕の時間経過

に対してパルスビームによるクラックは、図5(b)からも知れるように細く、その存在する場所がビーム径と思われる範囲に集中している。すなわち、パルスビームによる穿孔は、クラックの密度が最高に達した頃蒸発作用が急激に生じるのではないかと考えられる。このことは、図6に示したパルスビームによる衝撃痕の経過状況からも明らかである。そして、パルスビームによる穿孔加工時に生じるクラックの本数は、直流ビームの場合にくらべて5～10%以下である。

ただし、極端に薄い材料については衝撃時間が1～

2秒で穿孔が行われるが、このような場合については加工孔周囲のクラックの比較は困難であった。

つぎに、パルスビームにおいてパルス幅とくり返し周波数の影響について観察結果によれば、くり返し周波数を50 Hz～5 kHzの範囲において、パルス幅が100 μ s～1msの間で生じるクラックと直流ビームの場合とでは著しい相違がみられるが、同一くり返し周波数において、パルス幅が1 μ s～10 μ sの場合には両者に著しい差は認められなかった。

電子ビーム衝撃加工時に生じるクラックは、パルスビームを用いることにより少なくすることができるが、パルス幅、くり返し周波数ならびにビーム電流(陽極電流)との関係は、材料によりそれぞれ最適条件を見出さなければならない。

3.2 半導体材料の加工

ゲルマニウムやシリコンなどの半導体の結晶を加工することは、今日半導体素子の製作にあたるものにとっては重要な問題である。

半導体素子がますます小型化し、複雑化する傾向のある現在では、材料の汚染あるいは加工精度を考えると従来からの化学的腐食法には限度のあることが指摘されている。これに対し、電子ビーム加工は真空中で行うため材料の汚染は考えられない、さらにビームは制御が容易であることから高精度の加工が期待され、その開発と研究が行われている。

筆者らは、試作装置により主としてゲルマニウムの単結晶および多結晶に電子ビームを衝撃し、その加工上の問題および衝撃効果などの検討を行った。

3.2.1 加工ひずみ³⁾の軽減について

半導体結晶を電子ビーム加工する場合、加熱による加工ひずみが生じるが、この加工ひずみには単結晶の場合(111)面内での γ の現象とクラックの発生とがある。

(111)面内で発生する γ の現象は、加工条件が周囲に余り熱影響を及ぼさないような場合に生じ、実際の加工にあたっては最も問題が少ないといわれている。

クラックの発生は、電子ビームを走査させる場合、結晶が完全に熔融状態で進行するとき熔融部周辺に生じることが知られている。

上記の加工ひずみの防止には、原理的には加工点と周辺との温度差を少なくすればよい。すなわち、走査速度をおそくしたり外部的な加熱時間を増加することが考えられるが、半導体材料は温度に敏感であり、素子の特性の変化をまねくおそれもあり、材料の温度上昇にはとくに配慮が必要である。

筆者らは、予備加熱法と試料自身に衝撃時のビームによる熱を著える方法により加工ひずみを防いだ。すなわち、セラミック板上に厚さ0.5 mmのタングステン板を設置し、材料の下には帯電防止用として厚さ0.015 mm、幅0.5 mmのタンタルリボンをおいて接地した。そして実験前に2～3分間金属部分を加速電

圧 $V_p = 40 \text{ kV}$ 、陽極電流 $I_p = 800 \mu\text{A}$ 、直径1～3 mmの電子ビームで衝撃し、300℃～500℃の温度を与えて実験を行い好結果を得た。

3.2.2 熔融部の再結晶化³⁾とその特性

ゲルマニウムに電子ビームをスポット状にして衝撃し、これを急に停止した場合、特異な現象とし

(a) 斜上方向から見た形状

(b) 横方向から見た形状

図7 電子ビーム衝撃によるゲルマニウム単結晶の熔融再結晶部分

図8 再結晶傾斜部分の電子線回折像

て迂りやクラックは発生せず、熔融部が図7(a), (b)のように三角錐形に盛り上がり再結晶化する。また、この再結晶部の伝導型が変わることが知られ、応用面についての期

待がもたれると指摘³⁾されているがその特性については述べられていない。

筆者らは、試作装置により同様の実験を行いその特性を検討した。試料としては、0.5～1 mmの厚さに(111)面に沿ってスライスした比抵抗 $1 \Omega \text{cm}$ のゲルマニウム単結晶を用いた。

この場合、電子ビームの条件がゲルマニウムの融点に達する限りビーム径と同様の突起部分が生じるが、筆者らは、再結晶部の特性の測定を容易にするためビーム径を1～3 mmにし、衝撃時間を長くして大きい試料として用いた。

電子ビーム衝撃による熔融部の電子回折反射像を観察した結果を図8に示す。図より、他の部分に比較して鋭い菊地線が明瞭に観察された。これより再結晶部の表面はかなり滑かで、配列の完全な単結晶構造であることが明らかである。

さらに表面をCP4およびSuperoxolなどのエッチング液によってエッチピットを観察した。

図9は再結晶部分を上方から観察した結果を示し、図10にエッチングの結果を示した。

図10(a)はCP4によるエッチングの結果であるが、熔融部は非熔融部と同程度にエッチングするたゆには3～5倍の時間を要することから、熔融部はかなり硬く再結晶されていることが知れる。なお、非熔融部には明瞭にエッチピットの形成がみられる。

また、表面をSuperoxolにより約2分間エッチングした結果が図10(b)および(c)である。同図(c)は(b)図の一部分を拡大したものであるが、突起部分の斜面は(111)面で囲まれた構造であることが明らかである。

試料 N形ゲルマニウム
($V_p: 40 \text{kV}$, $I_p: 800 \mu\text{A}$)
 $t = 3 \text{分}$
図9 再結晶部分を上方から見た写真

(a) ゲルマニウム基板と再結晶(谷)部分のCP 4A 液によるエッチング結果の比較(左側基板, 右側谷部分)(エッチング時間 3分)
 (b) Superoxol 液による再結晶斜面のエッチング写真(エッチング時間 2分)
 (c) 斜面(111)結晶面を示すエッチピット拡大写真(エッチング時間 2分)

図10 CP 4AおよびSuperoxol 液によるエッチング結果再結晶部分の表面状態

図11は、同図(a)に示した再結晶部各部の寸法について、加速電圧を40, 35, 30 kVとし陽極電流を変えたときおよび衝撃時間の影響は、20~40秒の範囲では変化のないことが知れる。

つぎに、このようにして得られた試料について電圧-電流特性(以下は $V-I$ 特性と呼ぶ)を測定した結果の1例を図12に示す。図12は比抵抗 $1\Omega\text{-cm}$ 、厚さ 1mm のN型ゲルマニウム単結晶を、加速電圧 $V_p = 40\text{ kV}$ 、陽極電流 $I_p = 800\mu\text{A}$ として3分間電子ビームを衝撃して得られた再結晶部に、突起部頂上と非衝撃部および突起部内とに $0.2\text{mm}\phi$ のタングステン線を接触させて得られた $V-I$ 特性である。

図中のSL曲線は、非衝撃部における $V-I$ 特性であるが、曲線a, b, cは再結晶部内における $V-I$ 特性を示しこの範囲における比抵抗は、頂点に近づくほど大になることが知れる。これは、再結晶部が単結晶としてかなり精製されたものであると目安になる。(a, b, c曲線は、a-a'間b-b'間およびc-c'間における比抵抗を示す)

また、再結晶部の頂点附近を試料面に平行に切断し、CP 4によりエッチングを試みた。図13はその結果の1例である。図より突起部の中心にとくに深いエッチピットの形成がみられ、かなりの深さにまで続いていることが知れる。これにより再結晶部の外部にひずみが現れない原因としては、応力が対称的に周囲に拡散していくことと、内部のひずみが突起中心に集中して吸収されているためであろうと思われる。

また、この内部の柱状欠陥には当然不純物の集まっていることが考えられ、熔融部分が急冷される際に最後に固化する中心部分にアンチモンがはきよせられ、表面は少ない(比抵抗の大きい)状態になるものと考えれば $V-I$ 特性の測定結果と一致する。

図12の曲線AおよびBは、再結晶部頂点と非衝撃部とに接触針をおくときの $V-I$ 特性であるが、明らかにダイオード特性を示している。そして、接触針の距離を大にすれば特性は良好になるが、針の距離 $\ell = 5\text{mm}$ 以上では特性にほとんど変化はなかった。この $V-I$ 特性において再結晶部と非衝撃部とでダイ

図 11 (a) 再結晶部形状

図 11 (b) 陽極電流と再結晶部分の大きさの関係

図 11 (c) 陽極電流と衝撃部分の大きさの関係

図 11 (d) ビーム衝撃時間と溶融再結晶部分の大きさの関係

オード特性を示すことから、再結晶部の伝導型がP型に変化したことが知れる。

筆者らは、このダイオード特性に対する加速電圧の影響を検討した。図14は比抵抗 $1 \Omega - cm$, 厚さ $1 mm$ のN型ゲルマニウム単結晶に、陽極電流 $I_p = 500 \mu A$

一定とし、加速電圧を $V_p = 40, 35, 30 kV$ に変え、それぞれ3分間ビーム衝撃して得られた再結晶部と非衝撃部との $V - I$ 特性である。

図12 再結晶部の $V-I$ 特性 CP4A エッチングの
時間 $t = 3 \text{ 分}$ 図13 再結晶頂上中心部分の
エッチビット写真

図より, 同一衝撃時間に対し加速電圧が大なるほどダイオード特性は良好になるが, 陽極電流が $500 \mu\text{A}$ 以上, 加速電圧 55 kV 以上になると, 試料の膨脹破壊が生じる現象がみられた。この再結晶部の伝導型が変わることから, 同一基板上に微少なPN接合が可能になりその応用が期待される。

つぎに, このダイオード特性について接触針の影響を検討するために, 突起部頂点の接触到平板電極も用いて特性を測定した。

図15は, 厚さ 1 mm のN型ゲルマニウムに加速電圧 $V_p = 35 \text{ kV}$, 陽極電流 $I_p = 800 \mu\text{A}$ の電子ビームを60秒衝撃して得られた再結晶部の頂点に, 厚さ 0.1 mm , 巾 2 mm のモリブデン

図14 ビーム加速電圧と $V-I$ 特性

板を接触させ, これとタングステン線とによる $V-I$ 特性の結果である。

図より, タングステンの接触針が図中 b 点において優れた特性を示し, とくに逆特性で良好である。これは, 谷の部分と頂点附近とでは結晶状態が異なることを示している。すなわち, 再結晶部分の谷の表面層は, 突起部頂点附近より不純物が数倍多く存在しているものと推察される。

さらに, 接触針の影響について, ゴールドボンド法による特性の検討を行った。すなわち, 図16は, 再結晶部突起部頂点にインジウムを 0.1% 添加した金線を, また, 他の部分にアンチモンを 0.1% 添加した

金線をパルス放電によりボンデングした試料についての $V-I$ 特性を示す。このようにすると、金-インジウムはP型、金-アンチモンはN型の伝導型を示すことから接触針の影響をのぞくことができる。図より、そのダイオード特性は順方向ではタングステンを接触針とした場合より劣るが、逆方向特性は数倍ないし数10倍改善される。

なお、図中 a の部分で逆特性が他の部分より悪いのは、谷の部分はP型であり、金-アンチモン線と微小PN接合を形成しその特性が現われているからである。

また、ゲルマニウム多結晶についての電子ビーム衝撃効果は、単結晶の場合と同様に熔融部に部分的単結晶が得られた。この場合、電子ビームの衝撃条件は、加速電圧 $V_p = 40 \text{ kV}$ 、陽極電流 $I_p = 800 \mu\text{A}$ 、衝撃時間は30秒である。そして図17に結果の1例を、また図18に $V-I$ 特性の結果を示した。

3.2.3 半導体における合金接合

電子ビームによる素子の作製で有利な点は、短時間に大きなエネルギーを微小面積に与えて、瞬時に部分的蒸発を可能にすることである。したがって、従来材料の性質上長時間の加熱が好ましくなく、不可能とされてきた数種の物質を電子ビームにより合金化したり、接合することが可能である。

そこで筆者らは、試作装置によりN型ゲルマニウムとP型ゲルマニウム単結晶との接合およびN型ゲルマニウムにインジウムの合金接合を試みた。

図19は比抵抗 $1 \Omega \cdot \text{cm}$ のN型ゲルマニウム単結晶の上に、比抵抗 $1 \Omega \cdot \text{cm}$ 、厚さ 1 mm 、 $3 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ のP型ゲルマニウムと、加速電圧 $V_p = 40 \text{ kV}$ 、陽極電流 $I_p = 800 \mu\text{A}$ 、衝撃時間90秒による合金接合の1例である。また、この試料について接触針に $0.2 \text{ mm} \phi$ のタングステン線を用いたときの $V-I$ 特性を図20に示す。

つぎに、合金接合の他の1例として、N型ゲルマニウムに純度99.97%のインジウムの合金接合を試

図15 モリブデン板との接触における $V-I$ 特性

図16 ゴールド・ボンド接続における $V-I$ 特性

(a) 単結晶ゲルマニウム (b) 多結晶ゲルマニウム

ビーム条件: $V_p = 40 \text{ kV}$, $I_p = 800 \mu\text{A}$
 $t = 30 \text{ 秒}$

図 17 電子ビームによるゲルマニウムの溶融, 再結晶部分

図 18 電子ビーム衝撃後の多結晶ゲルマニウムによる $V-I$ 特性

これらの加工上の問題については、基板の予備加熱あるいは膜厚に応じて適当な加工条件を選ばなければならない。

筆者らは、試作装置により溝巾 100μ の抵抗薄膜を得る目的で加工を行い、走査速度と熱影響部との関係について検討した。

図 23 は、直径 25 mm 、厚さ 2 mm の円板型セラミック基板上に、膜厚 $1000 \text{ \AA}$ のクロウムを蒸着したものに電子ビームを衝撃した場合の走査速度と溝巾および熱影響部との関係を示したものである。この結

みた。図 21 に合金接合後の $V-I$ 特性を示す。

図 20 および 21 において、両者とも順方向の特性は N 型ゲルマニウムへの衝撃による接合の場合よりも良好であるが、逆方向の特性は好ましくないので検討を要するが、これはエッチングあるいは電極取付方法を改善することにより、ダイオードとしての可能性が考えられる。

また、N 型ゲルマニウムを基板とし、インジウム - アンチモンの合金接合を試みたところ、図 22 に示すように、インジウム - アンチモンの合金部にインジウム - アンチモンの樹枝状結晶の成長が観察された。

4. 抵抗薄膜の溝切加工

蒸着薄膜の溝切加工において注意すべきことは、ビーム衝撃による熔融蒸発中に飛散物質が溝に付着し抵抗値に変化をもたらすこと、また、加工特に必要部分以外に熱影響を及ぼさないことなどである。さらに、ビーム衝撃により、基板が熔融したり飛散することがあり、前者の場合には基板にクラックや熱膨脹を生じて、薄膜自体にクラックその他加工ひずみを生じる場合がある。

図19 N形ゲルマニウム
とP形ゲルマニウムとの合金接合

果は、基板上にクラックは存在せず、また、溝が完全に切断されている条件におけるものである。

そして、筆者らの装置における蒸着膜の加工条件としては、膜厚が $1000 \sim 2000 \text{ \AA}$ の範囲で溝巾 $50 \sim 100 \mu$ を得るのに、走査速度は $2 \sim 3 \text{ mm/s}$ 、加速電圧 $V_p = 35 \sim 40 \text{ kV}$ 陽極電流 $I_p = 50 \sim 100 \mu\text{A}$ が最も適当であるとの結果を得た。走査速度はこれ以上増加しても、溝切加工として溝の完全性が満たされず、また、加速電圧、陽極電流の増加は、基板の加工ひずみ、飛散物質の付着などが生じ、溝切加工としては満足されなかった。

5. 結 言

電子ビーム装置を簡略化しそして小型化することを主眼とし、試作を行ったところは初期の目的を達することができ、試作装置による半導

体の加工においても十分使用することができた。したがって、本装置を改善することにより、より微小な半導体単結晶の製作および各種材料の極微小合金接合の可能性が明らかになった。

なお、本装置における電子銃は、従来方式を採用しているが、電子銃の改善が行えれば、あるいは可

図20 P形ゲルマニウムの合金接合
における $V-I$ 特性

図21 インジウム - ゲルマニウム合金接合特性

図22 ゲルマニウム上にインジウム－アンチモンの合金を接合した一例

搬型の電子ビーム加工機が可能になるとも考えられる。

筆者らの試作電子ビーム加工機による実験結果と検討を要約すれば、

(1) 高融点材料の穿孔加工時に生じるクラックは、直流ビームではパルスビームのそれに比較し、約2～3倍の太さであり、約2倍の深さである。そして、これはビームをパルス化することにより防ぐことができる。

(2) N型ゲルマニウムに電子ビーム衝撃を行い熔融するとき、熔融部が再結晶化して伝導型が変りP・N接合が得られるが、このダイオード特性を利用する場合、逆方向特性については電極をゴールドボント法とし、また順方向の立上り特性については板による接触が好ましい。

これより、このP・N接合の応用を考える場合の接触針の決定への目安になる。

(3) N型ゲルマニウムを基板とし、P型ゲルマニウムおよびインジウムの合金接合を行ったところ、順方向特性が良好なものが得られる。これより、本装置でも微小合金接合が可能であることがわかった。

(4) N型ゲルマニウムにインジウム－アンチモンの電子ビームによる合金接合を行ったところ、合金接合にあわせて、合金部にインジウム－アンチモンの樹枝状結晶の成晶が観察された。これより、微小な化合物半導体の結晶化の可能性が明らかになった。なお、インジウム－アンチモンの結晶については現在検討中である。

本研究に対し、本校電気工学教室の宮田研究室、坪山研究室および押本研究室の各位より御協力ならびに御討論を頂いた、ここに、謝辞を呈します。また、本装置の製作にあたり、東京真空株式会社の御援助を頂いた。

図23 ビーム走査速度と溝幅、熱影響部分との関係

参 考 文 献

- 1) 難波 進;電子ビーム加工法, 精密機械, 29 卷 10 号, (1963)
- 2) R. Bakish; Electron and Ion Beam Science and Technology, J. Wiley, N. Y. (1965)
- 3) 小野貞正: 電子線による加工技術: 電子材料, 2 卷 4 号 (1963)

(受付日 昭和 43 年 7 月 9 日)