

半導体工業の現状と将来

大阪大学工学部 山口 次郎

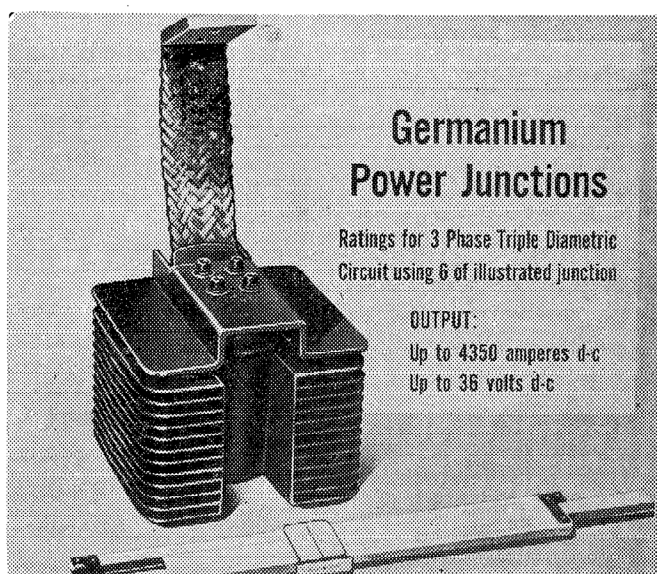
半導体という言葉がわが国で一般に用いられるようになったのはそう以前のことではない。私のような工学研究者は昭和15年頃量子物理学で不足半導体、過剰半導体という言葉聞いたことを憶えている。今でいうp型及びn型半導体である。そして実はもつと前から電気工業界で用いられていた酸化銅整流器、セレン整流器、硫化銅整流器の重要な一部分である酸化銅、セレン、硫化銅ならびに鉱石検波器として用いられていた方鉛鉱（硫化鉛）、負性抵抗体として利用されていた種々の酸化物の化合物が半導体であることが研究の結果だんだんわかってきた。しかし半導体で取扱われているものが上に述べたセレン、酸化銅等の整流器、遷移金属であるマンガンや鉄等の酸化物の負性抵抗体位である間は半導体の工業的背景もまだ知れたものであつた。しかし1948年のトランジスタの発明は俄然半導体を物理学の分野より工業の分野にデビューせしめかつトランジスタについで種々の半導体装置が続々現われた。

ここで半導体の物性的な特長をのべてみよう。半導体が導体や絶縁物に較べて違っている点は誰もがよく知っているように、電気抵抗が導体と絶縁物の間にあることである。もう少し深く突込んで考えると charge carrier（荷電粒子）の密度が導体に較べて相当疎である。すなわち導体では単位体積当り約 10^{22} の charge carrier があるのに対し半導体では約 $10^{12} \sim 10^{19}$ （普通は $10^{15} \sim 10^{18}$ ）である。従つて半導体が金属と接触すると電荷の授受があつて電位障壁ができ、整流現象が生じあるいは半導体表面にガスが吸着すると電荷の移動があつて特異な電子現象——いわゆる表面現象が現われる。又半導体そのものの内部の現象としては charge carrier の数が温度によつて極めて鋭敏にしかも温度とともに一般に増加するから負性抵抗の性質を示し光の吸収によつて電荷を増加し光電現象をあらわす。

わが国のトランジスタは既に数年前から製作が始められ現在では一流電機会社、通信機会社が既に製品を出している。初めは放置しただけで劣化するとか、使用中の劣化が著しいとかの欠点があつたが、今日では外国品と比較して遜色のない性能が得られている（高周波トランジスタではまだ外国に及ばない点もあるが）。そして、トランジスタ、ラジオの受信機に広く用いられている。

一方ゲルマニウムを用いた整流器はその整流効率が

96.5~98.5%、1枚の整流板で逆耐電圧が50~300ボルト、出力電流量が1平方糎当り1,000アンペア程度であるから、今までの交流一直流変換装置に較べて遙かに優秀な性能をもっている。国内では一流電機会社、金属整流器製造会社がこれ又すでに製作を始め、その製品は実用に供されつつある。



第 1 図

このようにゲルマニウムを材料としたトランジスタ、ダイオード、整流器は既に量産態勢に入つたと称しても過言でなく、温度、湿度の調節の行える清潔な各社の工場には外国から輸入された機械が設備せられている。これが半導体工場の現状であり、現在の半導体工業の姿といつてもさしつかえなからう。

以下しばらく、この日本のトランジスタ工場の乱立(?)について、A、B両君の対話をきいてみよう。

「A君、君はトランジスタ等の研究のため外国の各所をみてまわつたそうだがその時、ヨーロッパのトランジスタ工場の様子はどうだつたか」

「ヨーロッパではトランジスタ工場は多く見れなかつた。それは先方がいやがつたせいもあるが、私自身が電力用の半導体整流器や、半導体物性の研究に見学の重点をおいたためでもある。したがつて的確なことは云えないが、ドイツやイギリスでは今の日本のトランジスタ工場程の盛況はないといえる。」

「最近帰つた人の話によるとアメリカのトランジスタ

工場は益々発展し整備されてきたようであるそうなの。とあれ何だか日本の数多いトランジスタ工場設備はアメリカのそれを模倣しているかのように見える。」

「少し極端ないい方だが日本のメーカーのトランジスタの生産計画をみると、どの会社も自分の会社の1社だけで日本で必要なトランジスタの全部を賄うような膨大な計画のように思われる。それは不合理と君は思わないか。」

「たしかにその通りである。新しい分野で前途に大きい望みのかげられるものが登場してきた場合にそれを奪い合うようにするのが、わが国の今の姿である。その原因は結局はわが国の貧乏に起因し、貧乏に打ち勝とうとする日本人の勤勉にもよるのである。このような状態をそのまま放任することは好ましくないけれども、といつて国が統制することは更に好ましいことでない。要はもつと視野を広くして会社が基礎研究にもつと力を注いで独自の発明なり、技術を行うような素地を作らねばならない。これは何もトランジスタに限らず種々の分野で随分前から叫ばれていることである。」

「議論は日本の工業技術の全般にわたつてしまつたねえ。ただ私はトランジスタに関する限りは少し事情がちがうように思う。それは半導体工業という観点からみれば今、日本でブームになつてきているトランジスタはいわば、半導体の基礎であつて、どの会社も一応はやらねばならないものではなかろうか。話は少し見当違いかもしれないけれども、60年前に外国から汎用電動機が輸入された時、(私等はまだ生れなかつたからただ想像に過ぎないが)多くの工場は之を見本にして電動機を作つたに違いない。そして数十年後の今日はあるいは大型回転機を、あるいは小型電動機、あるいは直流用のもの、あるいは変圧器というようにそれぞれ専門の分野で発展している。つまりさきにかいた汎用電動機の製作は電気機械工業のイロハとして是非やらねばならないものであろう。半導体工業が電気機械工業と同様の前途ある発展分野をもつかどうかは、いろいろ議論があるけれども。」

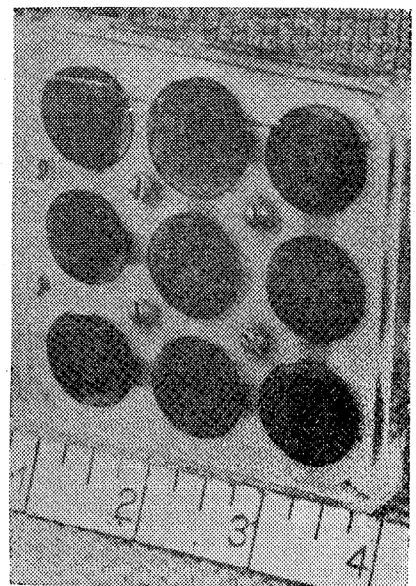
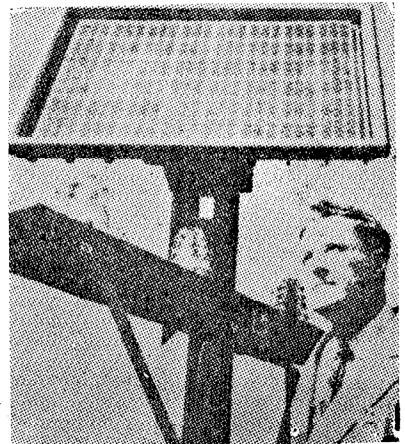
「現在わが国における半導体工業は上にのべたトランジスタ等のゲルマニウム装置の工業でほぼ代表できるが、これらの会社は既に高周波トランジスタの製作に着手しトランジスタとして使用不能の周波数限界が数十メガサイクルのものを作ることも間近いことであろう。」

次にシリコン(珪素)を用いた半導体装置が近くわが国で作られ、電力用整流器として、あるいは通信用機器として用いられることも何人も疑いをはさまないところである。現に数箇所においてシリコンの単結晶の作成に成功している。衆知のようにシリコンのp-n接合の逆方向電流はゲルマニウムのそれに較べて極めて小さく、

その許容使用温度も高い点からみてその前途は極めて明るいものがある。

シリコンを用いた太陽電池はわが国では試作が進められている段階でまだ実用になつていないが、外国では太陽エネルギーから電気エネルギーに変換する理論的効率の半分位のもの即ち効率約11%のものでできているのである。(第2図)日照時間の長い場所で且つ電気エネルギーを得るのに困難なところで相当な将来性があるから、あるいは南日本、台湾、南方地域には実用されるのではなかろうか。人工衛星にのせることは妙策であろう。

シリコン製品として見落してならないもう一つのは原子電池であろう。伝えるところによれば、アメリカの原子炉のFission product中に含まれる放射性物質を原子電池の放射エネルギー源に用い放射エネルギーから電気エネルギーへの変換効率を現



第2図 太陽電池(アメリカ)

在試作されたものの効率(0.04%)のままとしてもその電池の電気容量は現在アメリカで作られている鉛蓄電池の容量に近似であるそうである。すなわち原子炉の灰からの放射性物質を原子電池に充填すれば鉛蓄電池は一切不要になるというのだからシリコンの原子電池は今後の半導体工業の大きい対象の1つであろう。

上にのべたゲルマニウム、シリコンは既に御承知のように週期率表で第4族に属する元素であるが、第3族と第5族の合金、又は第2族と第6族の合金等によつても第4族のゲルマニウムやシリコンと類似の半導体としての性質をもたせることができる。このような物質をIII-V又はII-IVの金属間化合物と呼んでいるが、これらの

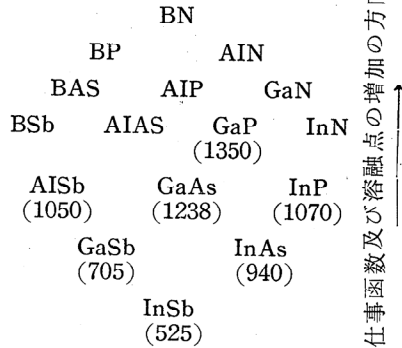
生産と技術

物質を用いた半導体工業も存外早い将来に起つてくるのではなかろうか。第1表及び第3図はこれらの物質の半

第1表

III	IV	V
B	C	N
Al	Si	P
Ga	Ge	As
In	Sn	Sb

週期率表の1部



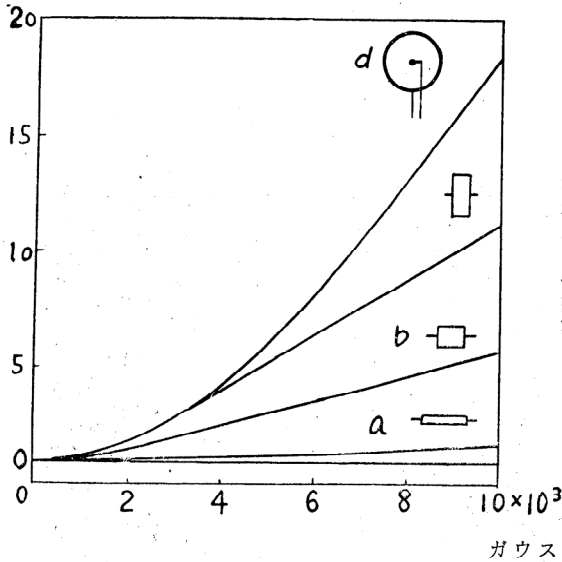
() 内の数は融点 (°C) を示す

(a)

(b)

導体としての性質を示したもので、ゲルマニウム、シリコンの性質も合わせて記載しておいた。この表で矢の方向にすすむ程融点は高く、エネルギー間隔も大きい。この金属間化合物の中の2~3について工業的応用方面を次にかいてみよう。

In—Sb は磁界による抵抗変化が大きく、以前に磁界測定に使用されていた蒼鉛の数倍にも及ぶから (第4図—試料の幾何学的な形状によつて特性が異なり図にはそ

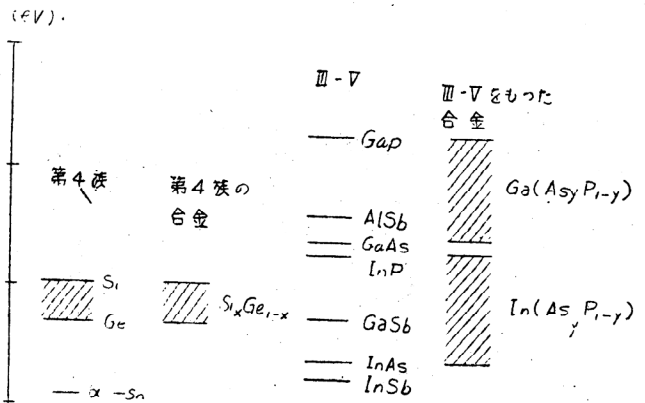


第4図 磁気誘導をうけた場合の InSb の抵抗変化 (曲線に付記してあるものは試料の幾何学的型)

の形が附記してある。) 磁界測定用計器とし又はホール係数が大きいからホール発電機の素子としあるいはトランジスタ作用を示すからトランジスタ材料として注目せられている。

Ga—As は整流器の素子となり得る外に、シリコンと同様太陽電池の素子として、シリコンと同等の効率を示すものとして注目せられている。

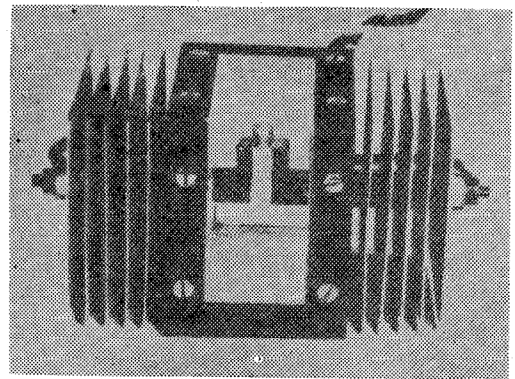
Bi₂ Te₃ は最近熱電冷却素子として注目を集めんとし



第3図 半導体のエネルギー間隔

Conductionband と Filledband の間隔

ているもので、報告によれば40度も温度を下げることに成功している。この物質も近年の半導体の研究の成果によつて熱電物質に適した材料の特性が明らかになつたためみつかつたものである。



第5図 40°Cの冷却を果した Bi₂ Te₃ の素子

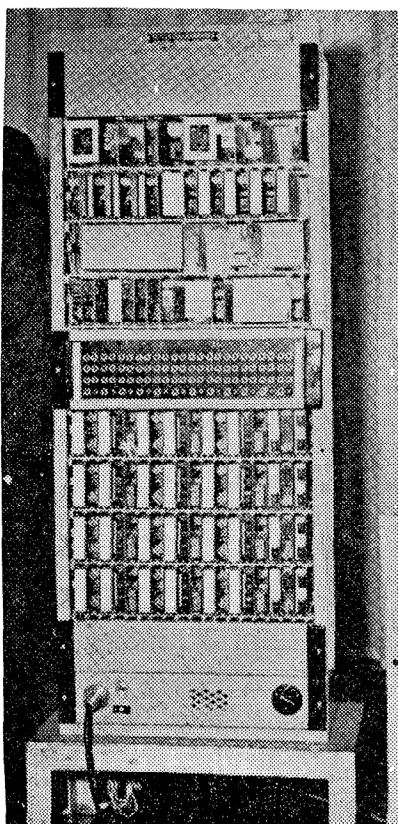
光電物質としては既に種々の螢光物質が研究されているのは衆知のようであるが、今後発展するであろうものは Electroluminescence 材料であろう。現在開発されつつあるものは CdS である。電界によつて発光するこの物質はきつと将来、光源材料として用いられるであろう。こう書き列べてくると半導体に属する物質は極めて多く、ゲルマニウム、シリコンを頂点とし、週期率表にある元素をくみ合わせて得られた半導体は勿論のこと、ナフタレンやアンスラセン等の有機半導体等にまでいたる。

最後にフェライトについてのべよう。これは最初にかいた遷移金属の酸化物とその他の酸化物例えば MFe₂O₂ (M は Fe, Ni, Co, Zn, Cu, Mg 等) からなつている。電気的特性よりみてこれは半導体に属しているけれども、導電特性は上に記載した諸物質程はつきりわかつていない。しかしフェライトの特長はその磁氣的性質にある。すなわち高周波の領域においても渦流が少なく導磁率が大きい。したがつて高周波用のインダクタンスの鉄心材料としてテレビ受信機の部品、パラメトロン磁

心等に現在既に用いられ電子工学分野の開発と共にひろく用いられるであろう。

以上これを要するに半導体のその応用方面はトランジスタ、整流器、感熱抵抗、非線型抵抗、光電池、磁電素子、熱電冷却、螢光物質、発光物質、磁性材料等極めて広く、これらが電気工学、電子工学、通信工学を始め広く工業全般にわたって利用されるであろう。その意味からいっても半導体工業の将来は実に洋々としているといえる。

ただこの工業を
発展させるためには物性論的並びに工学的研究及びそれから得られる工



業技術が極めて必要である。早い話が現在のゲルマニウム、シリコンに関するだけを見ても、いかにして純度の高いこれらの原料を得るかである。原鉱石の少ないゲルマニウムはしばらくおき、シリコンについてみて外国では既に 99.999999% 位の純度のものを作っているにかかわらずわが国では残念ながら 99.999% に漸く達せんとしている。この高純度の原料を単結晶にする方法が外国に先鞭をつけられたのはやむを得ないとして、その装置まで外国製であるのは会社企業の点から致し方がないとしても必ずしも歓迎されるべきものではなからう。またできた単結晶の不整の問題等もお研究されなければならぬ。

半導体材料を加工して半導体装置を作るまでもいろいろの問題がある。すなわち処理方法、加工治具、加工の際に使用する副資材の純度、周囲の雰気の影響等いづれをとつても技術的、かつ学問的に容易でない。半導体工業がますます発展するにつれて上のべた諸問題も研究し、解決されるべき研究態勢をととのえ、基礎的かつ工業的研究成果がわが国でとげられなければ、徒らに外国のライセンスを使用するのやむなきにいたるだろう。その時のわが国の半導体工業はけだし砂上の楼閣にすぎない。

第6図 トランジスタ化した搬送電話装置（表面カバーを外した外観）

学内研究ニュース

フェロスタック2号加速器 来年3月に完成へ

大阪大学工学部 原子核工学実験室

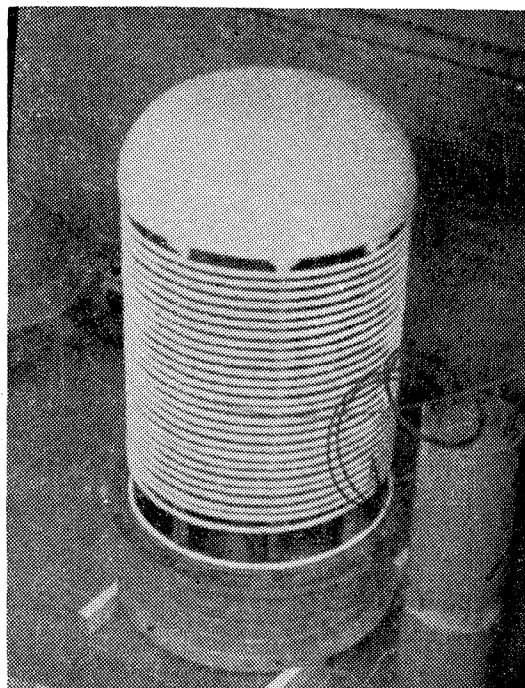
大阪大学工学部では枚方学舎内に放射線工学実験室（ホット・ラブ）及び原子核工学実験室を設け、原子核工学の基礎及び応用研究を本格的に開始している。放射線工学実験室は現在コバルト60約115キュリーを有し、高分子の重合、細菌黴等に対する放射線の影響、原子電池、その他の放射線工学に関する基礎研究が進められている。

一方原子核工学実験室では新しい中性子発生用加速装置フェロスタック1号（40万ボルト）も出来上り目下調整中である。

フェロスタック2号（100万ボルト）はその高電圧発生部の建設を終り引続き加速管部を本年度中に取付け完成する予定である。

これによつて中性子線、電子線、陽子線及びγ線源が一応そろふことになり、この方面の研究と教育に重要な

役割を演ずることになるであろう。



図はフェロスタック1号の高電圧発生装置