

本田財団レポートNo.56

私の半導体研究

東北大学教授 西澤潤一

Profile of Lecturer

Professor Jun-ichi Nishizawa

- 1926 Born in Sendai, Japan
1960 Received the Doctor of Engineering degree, Tohoku University
1962~ Professor of Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University
1968~ Director, Semiconductor Research Institute, Semiconductor Research Foundation
1981~1986 Project Director, Nishizawa Perfect Crystal Project, Exploratory Research for Advanced Technology, Research Development Corporation of Japan, Science and Technology Agency
1983~1986 Director of Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University
1984~ Honorary Member, the Institute of Electronics and Communication Engineers of Japan and the Institute of Electrical Engineers of Japan
1986~ Managing Director, Semiconductor Research Foundation

Honour

Many awards, such as a Person of Cultural Merits, the Purple Ribbon Medal, the Japan Academy award, and Director's Award of Japanese Science and Technology Agency (twice), and Jack A. Morton Award

Recent Monograph

- "How to See Ten Years Ahead,"
Kodansha Ltd., 1985.
"Simplicity, Honesty and Stubbornness — The Story of My Life,"
Nihon Keizai Shimbun Inc., 1985.
"The Age of Science: A Personal View,"
Kodansha Ltd., 1985.
"Jun-ichi Nishizawa's 'Opinions for Development': An Original Concept,"
Kogyo Chosakai Publishing Co., Ltd., 1986.
"My/The Battle for Exploration,"
President Inc., 1986.

講師略歴

西澤潤一

●学歴および経歴

- 1926 仙台生まれ
1960 工学博士
1962~ 東北大学教授 (電気通信研究所)
1968~ (財)半導体研究振興会 半導体研究所長
1981~ 科学技術庁創造科学技術推進事業
1986 完全結晶プロジェクト総括責任者
1983~ 東北大学電気通信研究所 所長
1986
1984~ (社)電子通信学会 名誉員
1984~ (社)電気学会 名誉員
1986~ (財)半導体研究振興会 常務理事

●栄 誉

紫綬褒賞を受けられた他、日本学士院賞、科学技術庁長官奨励賞(2度)、ジャック・A・モートン賞など多数の賞を受賞する。

●近年発表の論文・著作

『「十年先を読む」発想法』
1985年、講談社

『愚直一徹一私の履歴書』
1985年、日本経済新聞社

『科学時代の発想法』
1985年、講談社

『西澤潤一の独創開発論』
1986年、工業調査会

『独創は闘いにあり』
1986年、プレジデント社

このレポートは昭和61年11月17日、ホテル・オークラにおいて行なわれた1986年度本田賞授与式の記念講演の要旨をまとめたものです。

私の半導体研究

1986年11月17日 第7回本田賞授与式に於ける記念講演

1986年度本田賞受賞者

東北大学教授 西澤潤一



1. 人類と科学技術

人類は極く最近まで地球に寄生して生きてきた。人類の所業は自然の営みに僅かの斑点をつけるだけのことしか出来なかった。しかし今は、人類の所業によって気象まで変化するようになった。人類は地球号という美しい飛翔体に搭乗していると言ってよかろう。自らの手でその美しさを保ちながら自然と共に生きてゆかなければならない。

中国人は工という字をきめるときに天の自然現象一つつまり上の横一本棒を、下の横一本棒—地の上の人と社会—のために有効利用することを縦一本棒で現わし、この字を定めた東北大学名誉教授で水中音響の研究で世界的な業績を挙げられた松平正寿先生に伺った。

科学技術は自然を破壊するものではなく、破壊を最小限に留めながら人類と社会とを高い状態にしていくものである。もし科学技術がなかったならば、人は争って鳥獣を殺し、木の皮をはぎ、伐り取って薪をつくる。数日ならずして地球の美しい自然は潰滅してしまうことになるであろう。科学技術によっ

て自然の破壊は現在の程度に留まっているとってよい。

地球の資源は有限である。資源を大別すると物質材料としての資源があり、食料のようなものもこの中に含むこともできる。次がエネルギー資源で、化石物質としての石炭石油の他に原子力エネルギー資源が利用されている。これらにしても、食糧も水も天の与えるもので十分に事足りていた。電力にしても水力発電で間に合っていた。しかし今や、人口の増加が最大の理由になっていると思われるが、自然が地球が始まる前から蓄えてきたエネルギーの喰い減らしを相当はげしく行っている。

一つの理由は人口であるが、次の理由は人類の享樂である。人類がその享樂の故に多くの資源の浪費を行い、場合によっては直接的な自然破壊を行うことすらある。経済的にみれば景気がよいということ歓迎される方々は多い。しかし裏を返せば景気の上昇と共に資源の浪費が増加するということもまた事実である。

人間が奔放にその欲望を満たしてよい時代は去ったのであって、長い人類の歴史と遠い将来とを考え併せながら、欲望の満足とそのための科学技術の発

展に努めなければならないことになった。

しかし、よく言われるように、科学技術は本当に自然破壊の元凶なのだろうか。たしかに工場を立地させるにせよ田畑山林を潰して行われることが多いから、一見そのように見られがちである。最初に述べたように、農業や工業がなかったら、これだけの人口を地球号の上に生存させること自体出来なかったことは自明の理であろうし、おそらく批判される方自身、一刻といえども科学技術の恩恵を享けずに暮らしておられるとは考えられない。

これは、科学技術が一部の営利中心の工業と混同されることから始まっている。本来の科学技術の使命は、より少ない資源によって、より多くの欲望の満足を与えることである。欲望には人間の考えかたと人生観によって差異はあるにせよ軽重に差がある。これらを分類し価値を決めるのは倫理学の世界であろうし、バランスをとるのが経済学であろう。今や科学技術は政治の世界にさえ頭をもたげる時代となった。ポリ・テクノロジーの世界である。

今後、この傾向は増々強くなっていくであろう。それは何よりも先ず人口の急増である。現状のままに展開していけば、西暦2000年には世界の人口は無敵大になるなどと言われる程、人口の増加は急激である。エルニーニョ現象が終息したとも云われ、次の発生まで食糧が増産される可能性も大きい。しかし現状のままでは遠からず、世界的に激しい食糧不足をきたすこととなろう。世界的に食糧不足に対処するためのバイオ技術が開発されなければならないのであろう。

大体、物資としての資源は再生が可能である。すなわち廃棄すべきものから抽出再生を行えば回収できるはずである。このとき費されるのがエネルギーである。燃やしてしまっても元素に変化はないから、エネルギーさえ費やせば、元の分子に還元できるわけである。地球上にこれ以上ないという資源は、他の天体から持ってくる以外に方法がない。我慢してもらう以外に致し方がない。

しかし考えてみれば、人類が探査利用している資源は高々数キロメートル程度、海底とて若干深い程度である。これ以上の深さについては殆ど全く未利用であると言える。まだまだやることが沢山ある。

最後にエネルギー資源である。石油、石炭の枯渇が噂され、オイルショックが与えたインパクトも記憶に新たなるものがある。原子力資源も内蔵量からいうと余り永くは望めないと言われる。太陽熱発電

も潮力発電も見込みがないと言われるし、風力・潮位・波力発電も採算線ギリギリであり何よりも地域環境に対する依存性が多い。大抵は設備投資が回収できない。

可能性の大きいのが太陽光発電であろう。太陽が地球に投げ掛けるエネルギーは膨大なもので、日本全体で必要とされる電力エネルギーは、東京山の手線電車線の環の中にそそがれる太陽光エネルギーだけで十分と言われる。勿論、太陽電池の効率が高々15%であるということ勘定に入れば、それほど少ない面積で十分とはいかないけれども、いずれにしても、最も可能性のある手段であり、人間は正に太陽の子であったという思いを新たにす。

あとは、人類の作る太陽ともいべき核融合発電に期待することになるが、太陽光を利用した太陽電池の製造単価が決して廉価にはならず、これが実用化を妨げている。

特にエネルギーは全くの消耗品であり、回収という訳にはゆかない。貯蓄すら覚束ない。何としてでも、その確保と効率化を考えなければならない。特にエネルギーは、人類生活のために正に不可決の重大要素である。詳しい統計を持たないので残念であるが、工業製品は勿論農業製品に於てさえ、その製造原価の可成の部分をエネルギーのための費用が占めると言ってもよいであろう。生産者の生活に於てもエネルギーのための費用が大きな割合を占めている。

つまり、エネルギーのための費用は生産と生活のための水のようなもので、なくて済まないのは勿論、相当の割合の量が消費されている。安く使いよいエネルギーを供給することこそ、いわゆる近代生活のための最大要素なのである。

2. 日本民族に於ける科学技術

昔のゆとりのある生活を懐かしむのは特に激しく近代化してしまった環境に住む人類の共通の思い入れである。しかし、これだけ人口密度が上昇し、競争激烈となってしまった現在、昔のゆとりある生活を再現することは殆ど不可能といえるのではないか。

もし、そのようなことを実現したとしても間引かれた人々はどこに住めばよいのか。国際競争に破れるのは当然としても、全く競争力を喪ってしまったとしたら、資源の全くない上に人口密度が世界最高に近い日本民族の生活はどのようなものになってしまうか。

勿論これは私の専門ではない。しかし、私達科学技術者としてのありかたは、正当に国際競争に耐え得るだけの力を日本民族のために常に蓄えておくことではないだろうか。

今後、資源の価値は増々高まっていくことになる。その中であって、自立を保つための生命線は少なくとも科学技術に多くを期待しなければならない。しかも、他のどこからも手に入れることのできない必要不可欠な科学技術でなければならない。

ヒットラーはかつて、ドイツには水と空気と石炭しかないと言った。日本にはその石炭さえ殆どない。水と空気だけでこれだけの人口を養ってゆくことは、全く他に類例を見ない人類のための新しい実験だといえる。他人の知恵に頼っていたのでは済まされない。

その上、今や日本民族の水準は、世界的にみて屈指のものとなってきている。世界人類のために指導的役割を果たすことが好むと好まざるとにかかわらず要求されるようになって来ている。

民族エゴも許されない。しかし反面、自らの民族のことすら解決できずオンブしては他の民族のことや世界人類のことを論ずる資格に欠けるといえるのではないか。そして、日本民族を真に将来とも安寧ならしめることは世界人類に幸福をわかち、また、真の生きかたを自ら示すことによって可能なのではないだろうか。世界人類のために益する科学技術の展開を行うことによって、その両者を併存させることが可能である。

資源がなく、臨海工業地区の開拓によって、輸送問題を解決したことによる戦後日本の経済飛躍があった。しかし、今や、世界中が同じ手法、同様な技術を手にしている。再び、地理的優位が顕在化し、また労働賃金の安いところが産業の中心となってきている。

地理的要素を考えれば日本に於ては自家消費以外の重厚長大は概ね日本国内に位置する意味づけを失いつつある。輸送に便利な軽薄短小に中心が移らざるを得ない。それだけではない。他処で作られていない軽薄短小でなければ遠隔地に売れるはずがない。

結局のところ、原料のあまり必要でない、しかも加工度の非常に高い製品でなければ今日と将来の日本民族の生活を支えることは出来ないという自明の理に到達するのである。

資源を持たない民族として、生活を続けてゆくためには高度技術を自ら開拓していくことがどうして

も必要なのである。まして、世界最高ともいえる今日の生活水準を保とうなどと考えればなおさらのことなのである。正に日本民族は高度科学技術と共に生きなければならぬという運命を持った民族であるといわねばならない。

しかも、世界人類に益するという観念から、省資源と省エネルギーに貢献することこそ、その眼目でなければならない。

3、省エネルギーデバイスの開発

恩師渡辺教授は、戦後物理学を利用できる技術者の養成に熱意を注がれた。同じ研究志向は八木秀次教授の学風にも強く、八木教授は殆ど顧みられていなかった通信工学の我国への導入創始を果されると共に世界的に見ても電子工学については世界的な創始者のお一人であったといえると思う。

従って、グリッドを酸化物陰極の上に直接巻きつけた真空電子管の研究などをされていた渡辺教授にとってはトランジスタの発表は正に狙いの目を射られた思いがされたに違いない。早速、本多波雄、中野朝安の両先輩に研究開始のご指示があった。半年おくれて私にも参加のご指示があり、針を二本立てておこる現象を解明するためには一本だけ立てたときの現象をまず解明しようと、ダイオードの研究に入った。

しかし、当時の理論通り n 型ゲルマニウムに金や白金の針を立てるようなことをしてもちっとも良いダイオードは出来なかった。実は、ゲルマニウムがなかったから、砂川一郎氏から黄鉄鉱や方鉛鉱をもらい受けて測定していたが、内容は同じことである。

改めて、良いダイオードを実現する方法の発見に務めることとなった。結局、ハルトマン博士の一つの文献と実験中の偶然とが結びつき、半導体表面に絶縁物の薄膜があると金属の針を立てたときに良いダイオードになることを確認することになった。

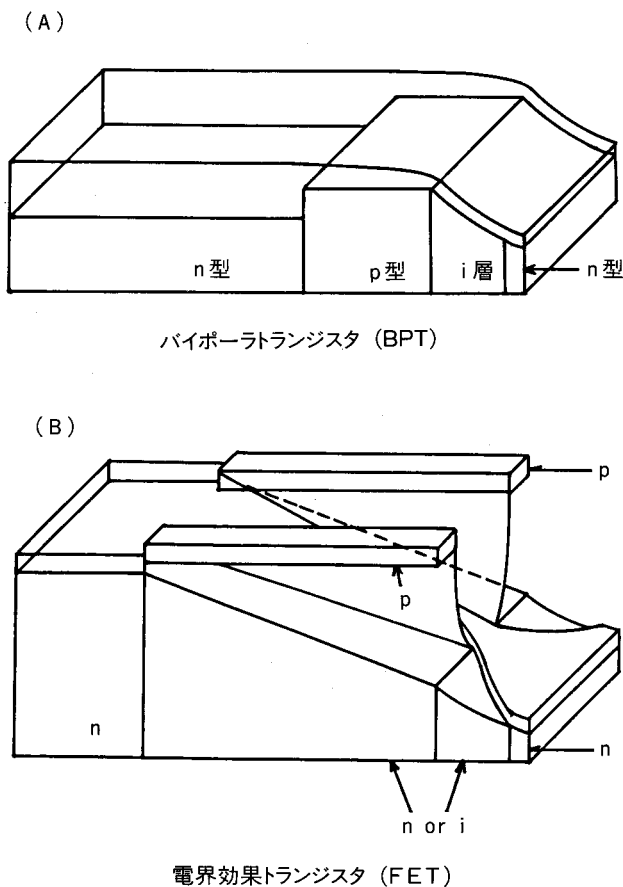
どうして良いダイオードになるのか。特別な向きに電圧がかかったときだけ電子が絶縁物の中に飛び込まなければ説明にならない。それでは半導体の中で加速されて飛び込むと考えればよいだろう。それなら飛び込み易い絶縁物が最もよいはずだ。それなら不純物の殆ど入っていない半導体自体を絶縁物に使えばよいではないか。その実現のために、今日集積回路の基礎技術となっているイオン注入法までを考え出し、やれるだけの方法をいろいろと試みてみた

結果、どれも大変よいダイオードになることを確かめた。整流現象の新しい理論ができたことになる。発表もしたし、特許も出願した。1950年9月11日が最初で、12月末までに今日でも盛んに実用されている pin ダイオードやイオン注入法を世界で最初に考え出すことができた。絶縁物の膜の中に加速された電子が飛び込むという現象の発明は今日ではホットエレクトロン注入と呼ばれている。

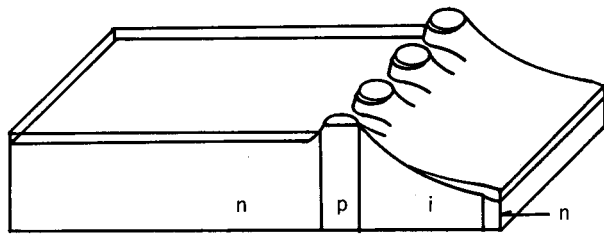
その中に、電子を絶縁性の半導体膜の中に流し込んで流れる電流の量を変化させれば増巾現象になることに気が付き、発表したのが、今日のバイポーラ・トランジスタの殆どすべてがそうであると言える pnip トランジスタ、pnip ドリフト・トランジスタと、静電誘導トランジスタである。この頃には点接触トランジスタがあっただけで、まだ今日のトランジスタは一つも実現されていなかった。

殆ど全く金のない研究室で、ようやく pin ダイオードの試作ができ2300 V、100 Aになったのが、1958年のことであった。誰も信用してくれなかった。pnip トランジスタは遂に J.Ealey 博士に先に実現され、pnip ドリフト・トランジスタは RCA に先に実現されてしまった。残っていたのは静電誘導トランジスタだけであった。

第1図 SITの動作原理

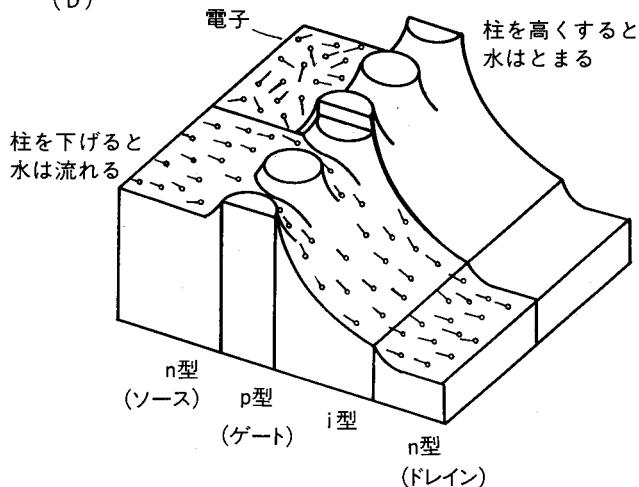


(C)



静電誘導トランジスタ (SIT)

(D)



第1図、(A)が、1949年にショックレイ博士によって提案されたバイポーラトランジスタで、2年後に実現された。P型の薄い領域をベース層というが、この高さを高くすると左のエミッタから流れ込んでくる水量が減るし、低くすると流入量が増す。ベース層の上げ下げによって、流量が調節できることが分ると思う。ベース層の中(紙面上で左右の中)を短かくするとエミッタ側から流れ込んだ水が反対側のコレクタに抜けるまでの時間が短くなるため、スイッチ作用が早くなる。

(B)が、1926年に発明され、1952年になってやっと実現されたFETと呼ばれるトランジスタで間に薄いゴム膜を張った二本の平行棒の高さを上下すると、ゴム膜が吊り上げられて水路の中が狭くなったり、下げられて広がったりする。このため水の流量が変化する。水路を短かくした方が水量変化は急速におこることは容易に分ると思う。

(C)が渡辺・西澤両氏によって上記二つのトランジスタのどちらもまだ実現されていなかった1951年に発明され1969年に実現されたSITというトランジスタである。ゴム膜の下から柱でつき上げて、ゴム膜の底のかたちを変え、上を流れる水量を調節するような動作を示す。水路の水底の深さが変わって上を流れる水量が変ることとはBPTと同じであるが、ベース層が極めて薄くなっている。また、流水の流れる水路の中(紙面にほぼ垂直な方向)が変化することはFETと丁度同じであるが、P型の平行棒の長さが極限まで短くなったのと同じである。だから、SITは、BPTとFETの何れより高速である。

(D)は、SITのとき、柱の上げ下げによって水が流れたり止ったりすることを示すものである。

(サイエンス誌より)

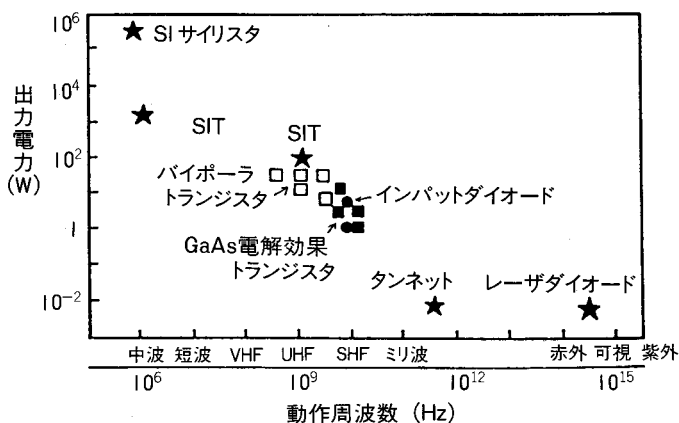
これと並行して、ダイオードの逆方向電流の解明から、世界で最初に半導体中にキャリアなだれがあることを発表した。また順方向の解析から半導体の中の空間電荷伝導現象や再結合するとき一度深い準位に捕獲されることなども当時世界で最初に発表したことである。

さて、1940年頃に気相結晶成長の研究をはじめ、1961年には紫外線で表面に吸着した粒子が泳動を刺激されて活発に動く結果、結晶の品位が向上することを発見し翌年から発表しはじめた。シリコンやIII V族間化合物半導体がコッセルの理論の通り見事に層成長をすることも私達が世界にさきがけて発表することができたことであるが、ようやくよい結晶ができてきた。

当時、FETの理論がおかしいことに気付いておりFETの動作理論をチャンネル抵抗に基づいて構成し、これを実証することを考えていた。それで結晶成長の技術を使ってチャンネルの短いFETを作ることを考えた。その結果、正にFETの説明が全く誤っていたこと、チャンネルの抵抗を小さくしたものが静電誘導トランジスタになっていることを明らかにすることができた。今日SITと呼ばれるトランジスタである。

ヤマハの持田康典氏らによって素晴らしいオーディオ用SITが、東北金属において出力1KWの大電力SITが生産されている。三菱電機、喜連川、岡、白幡氏らによって1GHzの100Wも実現された。これと平行して、サイリスタ試作を1971年成功させた。今電力の世界に電子工学の技術の展開が行われはじめたのは殆どこのデバイス、SIサイリスタ、SI Thy(サイサイ)の故であるといつてよいと思われる。

第2図 半導体デバイスの出力と周波数



SITによって高周波発振器や電力増巾器の効率は大幅に改良されることとなった。総合効率97%という値も発表されている。最近GTE社では8GHz, 20Wというものも試作した。SI Thyによって、東洋電機村岡氏らは20KHzまでは99%の効率で発生できることを確認された。電力として20KHzあたりまでを使うことも可能になった。電動機や変圧器が極端に小型にできる。将来、直流送電を行えば遠くから電力を運ぶことができる。都市に持ってきてもSI Thyで交流にすればよい。二本の光ファイバーをつないで片方に光パルスを入れると電流が流れはじめ、反対の光ファイバーに光パルスを入れると電流が切れることも確認された。

今人類はエネルギーを欲している。しかしその資源は先行きがきびしい。また人類は多くの機械を使う。ところがその効率は甚だしく低い。たった一つだけ効率99%の機械があった。変圧器である。今ここに、二つの99%機械を作り上げたことは、半導体のいろいろな基礎現象の解明が行えたことと同じように大きな喜びである。すなわち、交流を直流にするpinダイオードと逆もできるSIサイリスタである。

4. 光通信と人間生活

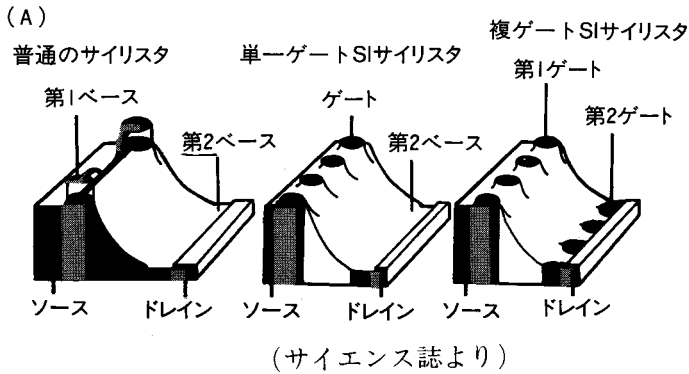
半導体集積回路は人類の生活を根本から変えつつある。その本来の目標は人類生活の効率化であることは改めて申し述べるまでもない。その中に、数多くのpnipドリフト・トランジスタが働いていることは私にとっても大変誇るに足ることだと思っている。やがてはSITが主力となる日を期待している。特にキャリアの平均自由行程より短い厚味のもものは1971年に提案した理想型SITと呼ばれるもので、最近世界中でいろいろに名前を変えて開発されつつある。

しかしこのようなICの急速な展開に対応して車の両輪となって人間生活に大きな貢献を果しはじめているのは光通信である。

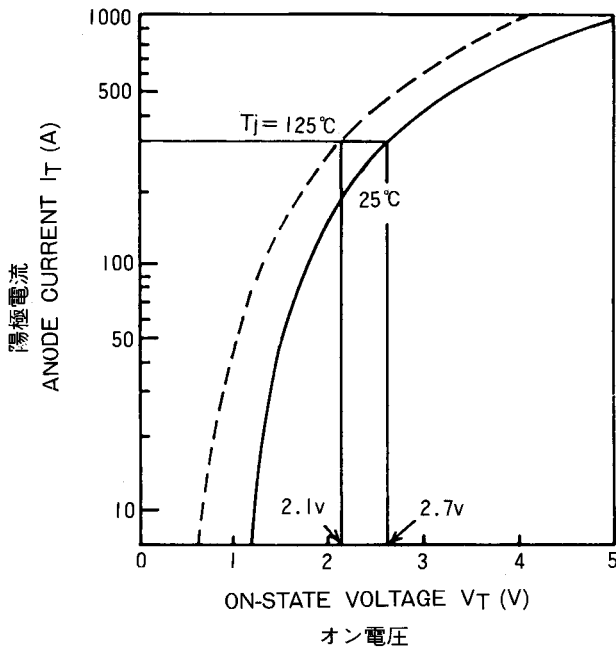
赤外分光器が150μmでも使えるようになり、マイクロ波を半導体ダイオードに加えて出てくる高周波が0.1mmになったのが1954年のことであるが、干渉のおこる赤外線(レーザー光)と高調波でないマイクロ波の間にはまだ三桁のギャップがある。

星印は、我々の研究室で考え出され或いは更に実現されたもので、タンネット(Tunnett)ダイオードは338GHzで発振した。

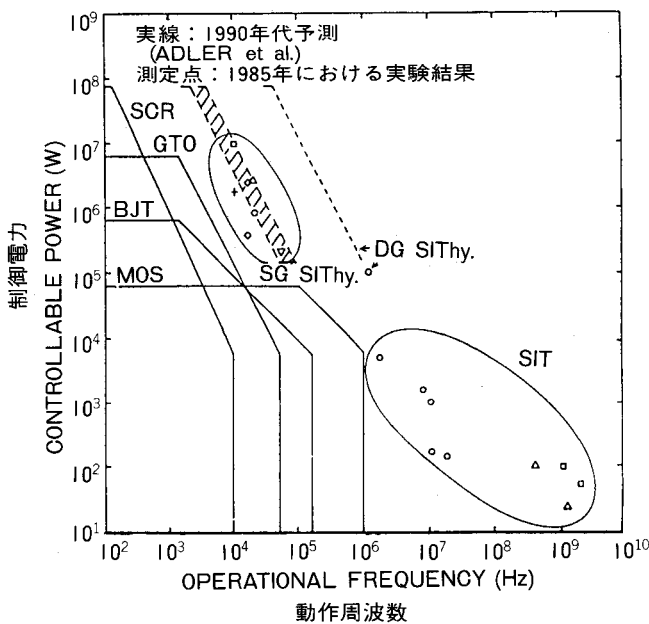
第3図 静電誘導サイリスタ



(B) オン電圧特性



(C) 半導体電力素子の制御電力と動作周波数



(A) サイリスタとは半導体で作った電気スイッチであるが普通のサイリスタと、単一ゲートSIサイリスタ複ゲートSIサイリスタの構造の差を示す図。

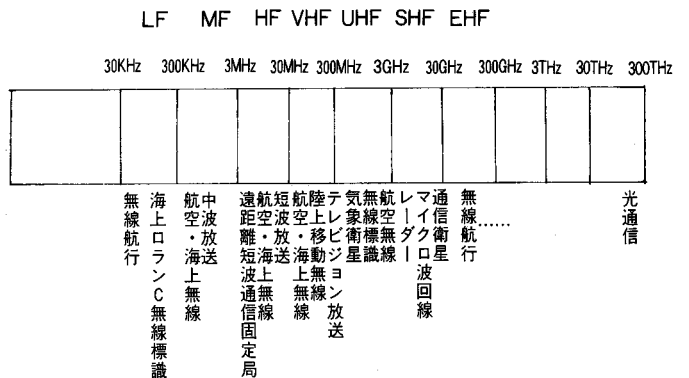
普通のサイリスタのベースの一つをSITと同じゲート構造にしたものが単一ゲートSIサイリスタであり、二つのベースを両方共ゲートにしたのが複ゲートSIサイリスタである。その結果、スイッチ速度が早く、効率上がる。

(B) 電流が流れているとき、つまりスイッチを入れたときに、スイッチの中でどれだけ電圧が下がるかを測ったもので、普通のサイリスタの%ぐらいしかないことを示している。

(C) 1984年にAdler博士らが発表した1990年代における予測図、単一ゲートSIサイリスタ (SGSiThy) と複ゲートSIサイリスタ (DGSiThy) SITが既に1985年に限界を超えていたことを示す。

DGSiThyはSGSiThyよりもよい特性を示す。

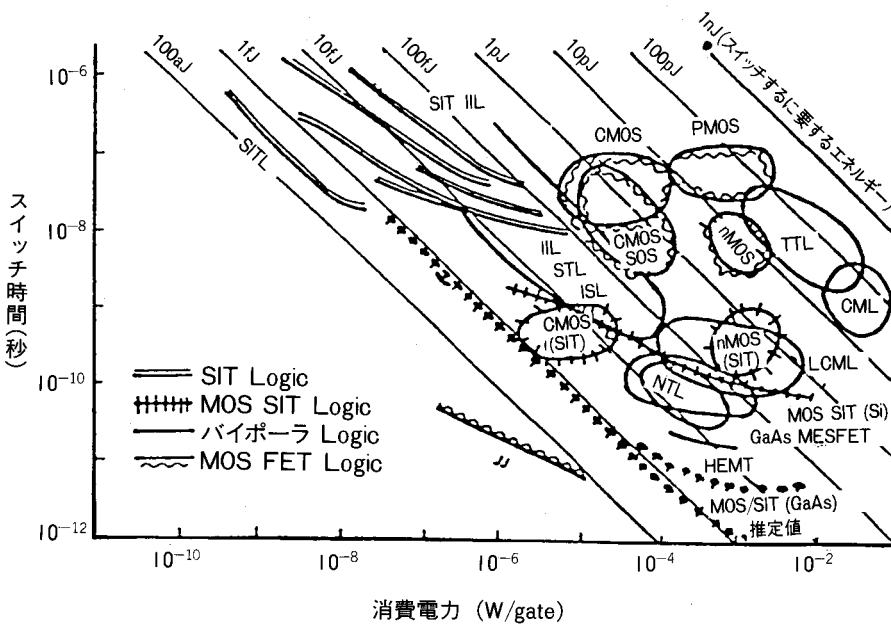
第4図 電波の利用スペクトル



同一周波数の電波は共用することはできない。混信するからである。従って電波は割りつけを行って、各周波数毎に目的と使用者がきめられる。低い周波数から段々と高い周波数が使えるようになるにつれ、いろいろの高度の目的のために電波が割りつけられてきた。しかし、未だ未だ電波の周波数は足りない。鬼子のように突然光の領域で通信が出来るようになった。普通の光はチラチラしているので、通信を送るためにチラつかせても通信しているかどうか分らなかった。レーザーから出る光はチラついていないので、一寸でもチラつかせると通信を送っていることが分るのである。

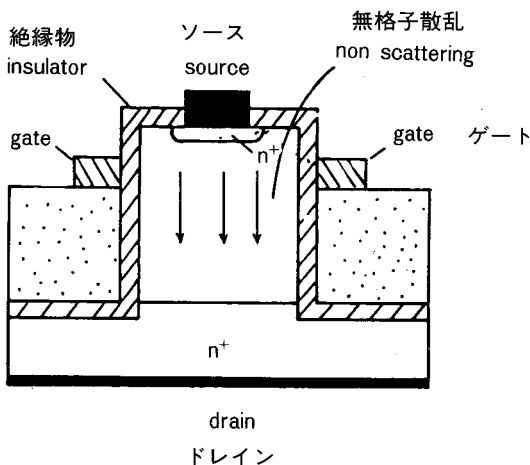
しかし、未だ電波と光との間の周波数の電波が増巾できないので通信には使われていない。

第5図 いろいろな集積回路の特性比較



光と電波の間の周波数で働くトランジスタは、計算機などで使う超高速トランジスタになる。スイッチ時間は現在のところ富士通で作られたHEMTが最も早く、数ピコ秒であって、JJと書いてある超電導デバイスに匹敵する。我々が実現しようとしている理想型(Ideal)SIT(ISIT)は、理論的に推定すると1ピコ秒より短い時間にスイッチできる見込である。すなわち、速度について言えば、半導体は超電導デバイスにまけることはない。只、残念ながら、消費電力が大きい。面白いことに同じ回路では与える電力を倍にするとスイッチ時間は半分になるという関係があり、結果的に1回スイッチするのに必要なエネルギーはほぼ一定で斜めの直線に平行になる。SITを使った回路が最も左下の方になり、最も低いエネルギーで動く。200アットジュールは世界記録であり、また、加えた電力が数ピコワットに減っても回路がスイッチしたというのも世界記録であった。これでスイッチ速度が早いことが実証できれば、三つの世界記録を持つことになり、従来考えられなかったような早い計算機が作れることとなる。

第6図 理想型静電誘導トランジスタ(ISIT)



ソースまたはエミッタと言われる頭のところから電子が下方に向けて飛び込むが、薄いトランジスタを作るとドレインまたはコレクタと呼ばれるところに到達するまでに熱振動している結晶の格子と殆どぶつからずに飛んで行って電流を流す。このため飛ぶ早さは非常に早く、スイッチする時間も極めて早くなるのである。これが、理論計算すると1ピコ秒以下でスイッチできることになる原因である。どれぐらい薄くすればよいかと言うと、数百オングストロームであるから、GaAsで作るとすれば、分子の数にして数十である。このように薄い結晶を作らなければならない。

光通信については私達は八木秀次教授から人類に広く通信の手段を与えるために高い周波数を開拓して光に至れと教えられていた。

日本にも1936年石英ガラス棒を使って光通信をしようという関博士らの発想があり、1926、1927年頃英国米国にも光ファイバーを用いて光を通す発想があった。しかし、このままでは通信には使えない。

私は渡辺教授のご指導の下で pin ダイオードを考え出したときに光検波に使えることを発表し、1952年に半導体の中にキャリヤなだれがあることを見つけて発表するとき APD の基礎式も書いておいた。つまり、1950~1953年の間に今日実用されている二つの光検波器を両方も考えていた。

1957年にシリコンの中に燐などの不純物を入れればマイクロ波がパルス増幅されるのではないかという論文を読んで、それなら外部共振型の半導体のpn接合を使えば連続的に光も増幅発振できるのではないかと考えて発表したが、どの雑誌も発表させてくれず特許だけが残っている。1959年には内部共振型のものも特許になっている。資金にも恵まれず、1962年ロバート・ホール博士らによって実現された。

1964年、ガラスファイバーの中に屈折率の分布をつけて中心の屈折率を極大にすれば光が外に逃げなくなることを考えて発表した。後に研究協力者の川上彰二郎博士を得て最適分布を計算し、若干の実験も行ってもらった。(米国からの特許にあるのはCIPで出願されたものでこれよりおそい)

1970年には偏光型ファイバーを発表し、これで光通信の三要素のすべての提案について世界の先端を切ることができた。シングルモードファイバーとラージコアステップインデックスファイバーの提案は他である。前者はダイオット博士、後者はヴァン・ヘル博士ではないかと思っている。

具体的な化合物半導体の結晶作りから化学量論的組成からのずれの研究を行って従来の飽和溶解度一定が成り立ってはず化学ポテンシャルが固液気相に亘って一定であるという考え方から現象の説明を行った。この技術を応用して世界最高の結晶製造技術に成功されたことになるのが住友電工の鈴木隆、赤井慎一博士であり、我々は更に引きあげ法なども成功している。一般プロセスに応用したのは千川純一博士である。

一方、この技術を用いて液相成長を行って明るい発光ダイオードの製作に成功した。理論計算で3%留りという論文があったのに手島透氏らは既に外部

量子効率29%というものも生産されている。これらの技術は何れも適合した蒸気圧を加えておいて成分原子の蒸発を抑制し、格子欠陥を発生させないことに根拠がある。窒素を添加しなくても Ga P から550 nm の緑色発光が得られたり、II VI族間化合物で蒸気圧を加えて作ればp型でもn型でも作れることを明らかにすることに成功し半導体物性の面にも貢献することができた。

しかし、電球は甚だ効率が悪い。またフィラメントが断線する。色ガラスを使って色をつけるから反射光との区別がつけ難いなどの欠点がある。発光ダイオードはこれらの欠点を補うものである。

この優れた材料を利用してレーザーをはじめとした光デバイスの特性を向上させることを続けている。

通信の進歩は物質資源の世界とは全く関係がないように見えるかもしれない。しかし、それは大変な誤りである。人間の思考活動が、人間世界の基幹の一つであるばかりでなく、資源の活用について莫大な差異を生ずることは日常極めて獲あることである。巨頭がテレビ電話で話合った結果、戦争が回避できたとしたら甚だ大きな人間生活への貢献であるが、物資消耗という点からみてもその効果は膨大なものである。

今後ますます通信情報の重要性は増してくるであろう。そして、わずかに10ミクロン程度の細いガラスファイバーが何万回線もの電話を同時に伝えられるなどということは正にその鍵を握るものとなるであろう。

5. これからの科学技術

脚光を浴びるつもりなどいささかもなく、歩みつけてきたのは、資源のない日本民族に生きる営みをつづけられるようにとの心情と、そのために人類のために役立たねばならぬという近年漸く固まってきた確信とが左手であるとすれば、未知なることを少しでも解明しようという探求心の右手があり、それ以外に生きようがないと思っていたからである。予想もしなかったことであるが、今漸く社会がその方向に向って歩みを開始している。

これだけの豊かさを享受しながら他の模倣と改良だけをしていたのでは、他の民族は許さなくなってきたのは当然であろう。自らが開拓した新製品によって社会に貢献しなくてはならなくなっているのは申すまでもないことであるが、現下の経済状勢

からすればその傾向はますます厳しさを加えている。国民の生活直接だけを取り上げてみれば歓迎すべき円高も国際収支の点からいえば甚だ苦しい条件になったといえる。資源は安く手に入るが製品の輸出価格が上がるから売り難くなる。

結局のところ生産工場の海外移転を強いられることとなり、国内は空洞化の危険性が出てきた。工場の海外移転は、日本の民族エゴといわれる状態から国際的な立場に変ることになり、その点からすれば、大きな進歩というべきであろう。

しかし、では日本には何が残るか。研究開発と試験工場、そして生産機械の試作工場である筈である。日本の生産工場は農業から医療までを含めてすべてが今高度技術に転換を迫られているといつてよからう。

もし成功しなければ日本の産業はその存在意義を喪ってしまう。元に戻り、そして次第にしのびよる資源の稀少価値化のために、産業として成り立たなくなる筈である。飢えに泣く生活を余儀なくされる

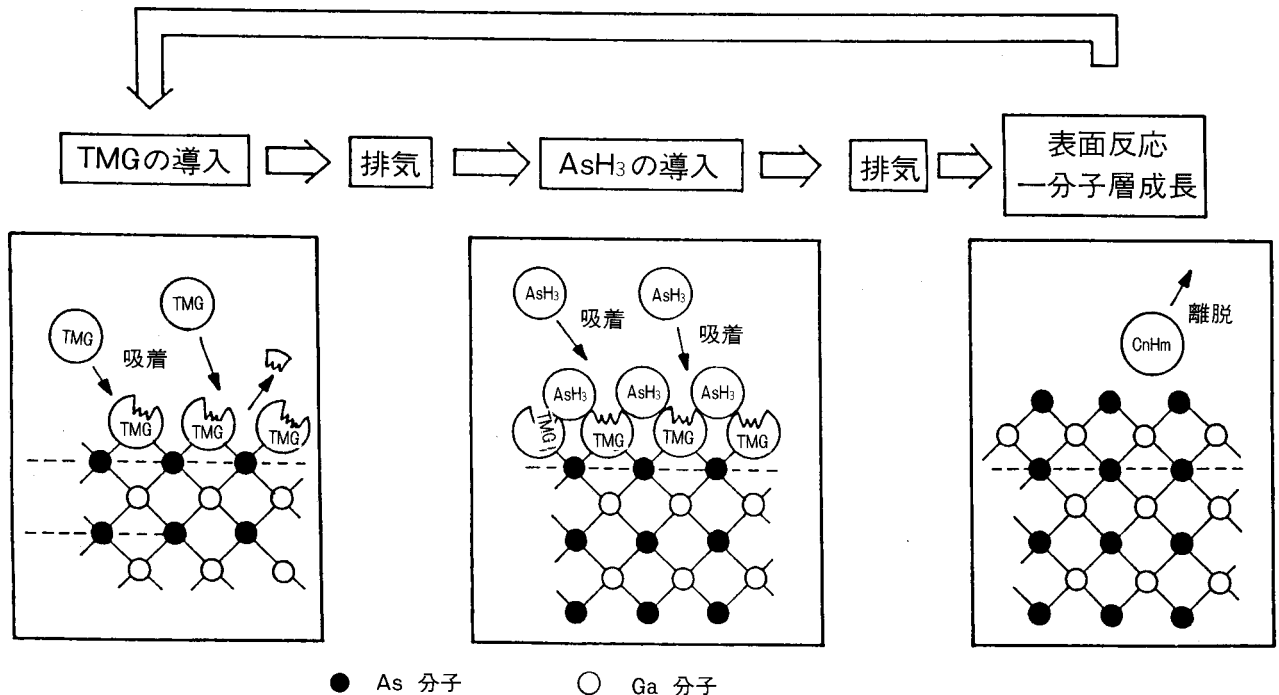
筈である。

つまり、日本民族は、その異例ともいえる手持資源の少なさと人口密度の多さの二重苦の下に新しい時代に向って新しい一歩を踏み出そうとしている。新しい来るべき時代のための実験を逸早く強いられているともいえよう。

水と空気による生存への挑戦といえよう。しかしその水と空気すら我々には保証されていないことは今は誰でも知っていることであろう。水と空気すら汚染されて自然の手によらず自らの手によって浄化を行いながら生存してゆかなければならぬ時も近付いている。

人間がこのまま生活していった時に何が人類の生活を脅かすものとなるのであろうか。私はやはり人口の増加そのものからくるものではないかと考えている。それが食料不足という形で迫ってくるかも知れない。あるいは一酸化炭素や酸化窒素の増加とかたちで迫ってくるかも知れない。二酸化炭素の増加を心配する人もいる。水の中にとけ込んだものか

第7図 分子層エピタキシャル成長の模式図



フィンランドのSuntola博士がZnSの多結晶膜を作るときに使った方法を応用してGaAsの単結晶膜を作ることになった。先ずTMGガスをGaAsの結晶の上に吹きつけると吸着する。2秒程度で充分吸着して単分子膜になるが、そのあと排気して余分のガスを除き、次に、AsH₃ガスを導入する。10秒ぐらいたると吸着したTMGの上に吸着して、反応し、余分のガスを排気するとき炭水化物も一緒に出て来て、GaAsが一分子層だけ成長する。これを繰り返せば

次々と二分子層膜三分子層膜が形成される。五十回繰り返せば必ず五十分子層積み重なる。紫外線を照射すると、300°C程度の温度で大変見事な結晶ができる。これは吸着したTMGが吸着するとき、一部を放出して、GaCH₃などになり、基板温度が高くなるにつれ、Gaになってつくようになるが、これらが紫外線が当たるとGaAs表面の上をよく動き廻るようになるためであることが分った。これは触媒の機作を解明するためにも重要な手掛りとなると思われる。

或いは水自体の不足が、酸素の不足と同じように我々の生活を脅かすかも知れない。

ガンの撲滅も近いといわれる。大変嬉しいことであるが、もし人類が無限の生命を獲得したとしたらどうなるであろうか。地球上に人が満ち、ますます水と空気の維持にさえ困難を来すのではないだろうか。

今のところ、人口問題に方針を打ち出して実践しているのは中国だけではないだろうか。

科学技術は必死になって人類生存の手段を求め、またまさぐり続けるであろう。しかし、それだけでは解決にはならないことは残念ながら目に見えているといえそうである。

自然科学の暴走を論ずる人達もいる。科学技術は恒に両刃の剣であった。悪用を恐れて開拓を遅らせる訳にはゆかない。何時でも何でも出来る科学技術を用意しておくことが我々無資源国に生まれた日本民族の宿命ともいえる。一寸周囲より早く、世界の人々が欲している重要技術を何時でも工業化してゆかなければ、その生活は保障されない。

急ぎすぎの弊害は、不安感と過度の欲望から来るのではないだろうか。不安感をなくすのはゆとりである。ゆとりのある科学技術力を持っていれば、いつでもやれるのであるから、特にあわてたり不安感に駆られて早すぎる工業化をやる必要はなくなる筈である。急ぎすぎて、予期せぬ汚染を流したりするあやまちもおかさずに済むといえるのではないだろうか。

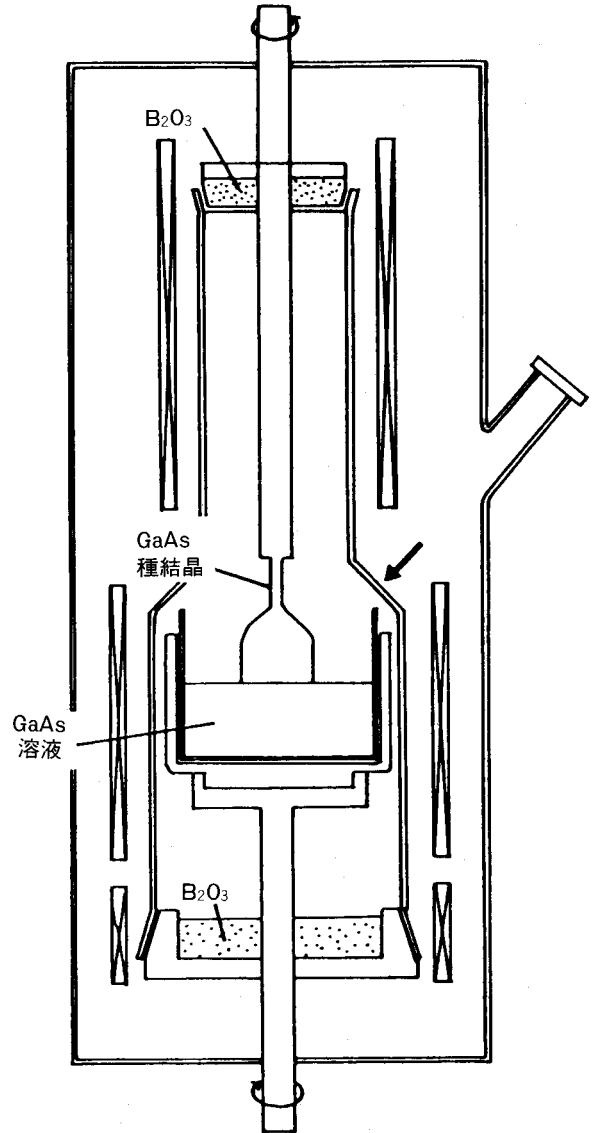
言い換えると、遅れているから急ぎすぎるのであると私は申し上げたい。充分豊富に準備された科学技術の中から経済学も生態学も倫理学も動員して選択し、その方針を決めて工業化を進めるようであればならない。技術自体が真の意味で世界中の人の待望するものであるとすれば急ぎすぎの害は、富の偏在だけなのではないか。

科学技術の展開速度を遅らせたのでは逆であり、更に急速化、効率化を実現してゆかなければならない。しかし、これは単に日本民族の問題であろうか。否である。世界の人類が共通に持つ問題点であり、只日本民族が、繰り返すが資源がなく人口密度が異常に高いために、他より一寸早く一寸厳しく体験させられる問題とってよいのではないだろうか。

定年の近付いた私にしても、限られた数年のうちにやらねばならぬことが山積している。1961年に見付け出した紫外線照射による表面吸着粒子の泳動の

活性化を利用し、ストラ博士の着想を結晶で初めて実施した結果、半導体結晶表面の吸着反応を利用して単分子膜結晶の育成に成功したが、触媒化学の真髄と結晶成長の神秘に迫りつつある。非常に低い温度で完全性の高い材料や、従来、合成困難だった材料の製造を可能にする新技術になるものと期待している。

第8図 GaAs結晶の完全結晶技術の一つ



GaAsをGaなどの液から固めるときに最適なAsの蒸気圧を加えながらやると、完全性の高い結晶が得られることを発見した。この結果からGaAsをとかすと固まる温度1237℃では、好都合なことには最適蒸気圧はほぼ1気圧になる。これを独立にやって居られたのが赤井慎一・鈴木隆両博士で横型の電気炉であった。我々が縦型にしてほぼ円筒型の結晶ができるようにしたのがこの装置であって回転部分からAsのガスが洩れることを防ぐためにとけたB₂O₃やGaなどを用いて気密を保つ。また、617℃に保った砒素の容器とガラスパイプでつないである。

本田財団レポート

No.1	「ディスカバリーズ国際シンポジウム ローマ1977」の報告 電気通信大学教授 合田周平	昭53.5	No.30	「腕に技能をもった人材育成」 労働省職業訓練局海外技術協力室長 木全ミツ	昭57.7
No.2	異文化間のコミュニケーションの問題をめぐって 東京大学教授 公文俊平	昭53.6	No.31	「日本の研究開発」 総合研究開発機構(NIRA)理事長 下河辺 淳	昭57.10
No.3	生産の時代から交流の時代へ 東京大学教授 木村尚三郎	昭53.8	No.32	「自由経済下での技術者の役割」 ケンブリッジ大学名誉教授 ジョン F. コールズ	昭57.12
No.4	語り言葉としての日本語 劇団四季主宰 浅利慶太	昭53.10	No.33	「日本人と西洋人」 東京大学文学部教授 高階秀爾	昭58.1
No.5	コミュニケーション技術の未来 電気通信科学財団理事長 白根禮吉	昭54.3	No.34	「ディスカバリーズ国際シンポジウム コロンバスオハイオ1982」報告 電気通信大学教授 合田周平	昭58.2
No.6	「ディスカバリーズ国際シンポジウム パリ1978」の報告 電気通信大学教授 合田周平	昭54.4	No.35	「エネルギーと環境」 横浜国立大学環境科学研究センター教授 田川博章	昭58.4
No.7	科学は進歩するのか変化するのか 東京大学助教授 村上陽一郎	昭54.4	No.36	「第3世代の建築」 柳菊竹清訓建築設計事務所主宰 菊竹清訓	昭58.7
No.8	ヨーロッパから見た日本 NHK解説委員室主幹 山室英男	昭54.5	No.37	「日本における技術教育の実態と計画」 東京工業大学名誉教授 斎藤進六	昭58.8
No.9	最近の国際政治における問題について 京都大学教授 高坂正堯	昭54.6	No.38	「大規模時代の終り—産業社会の地殻変動」 専修大学経済学部教授 中村秀一郎	昭58.8
No.10	分散型システムについて 東京大学教授 石井威望	昭54.9	No.39	「ディスカバリーズ国際シンポジウム ロンドン1983」の報告 電気通信大学教授 合田周平	昭58.9
No.11	「ディスカバリーズ国際シンポジウム ストックホルム1979」の報告 電気通信大学教授 合田周平	昭54.11	No.40	日本人と木の文化 千葉大学名誉教授・千葉工業大学教授 小原二郎	昭58.10
No.12	公共政策形成の問題点 埼玉大学教授 吉村 融	昭55.1	No.41	「人間と自然との新しい対話」 ブラッセル自由大学教授 イリヤ・ブリゴジン	昭59.2
No.13	医学と工学の対話 東京大学教授 渥美和彦	昭55.1	No.42	「変化する日本社会」 大阪大学教授 山崎正和	昭59.3
No.14	心の問題と工学 東京工業大学教授 寺野寿郎	昭55.2	No.43	ベルギー「フランドル行政産業使節団」講演会	昭59.7
No.15	最近の国際情勢から NHK解説委員室主幹 山室英男	昭55.4	No.44	「新しい情報秩序を求めて」 電気通信大学助教授 小菅敏夫	昭59.7
No.16	コミュニケーション技術とその技術の進歩 MIT教授 イシエル デ ソラ ブール	昭55.5	No.45	「アラブの行動原理」 国立民族学博物館教授 片倉もとこ	昭59.10
No.17	寿命 東京大学教授 古川俊之	昭55.5	No.46	「21世紀のエネルギーを考える」 イタリア国立エネルギー研究機関総裁 ウンベルト・コロombo	昭60.1
No.18	日本に対する肯定と否定 東京大学教授 辻村 明	昭55.7	No.47	「光のデザイン」 石井デザイン事務所 石井幹子	昭60.7
No.19	自動車事故回避のノウハウ 成蹊大学教授 江守一郎	昭55.10	No.48	「21世紀技術社会の展望」 第43回日経ハイテクセミナー	昭61.1
No.20	'80年代—国際経済の課題 日本短波放送専務取締役 小島章伸	昭55.11	No.49	「星をつぶす法」 文部省宇宙科学研究所所長 小田 稔	昭61.5
No.21	技術と文化 I V A事務総長 グナー・ハンベリユース	昭55.12	No.50	「ひまわりVA太陽光は人間の生活にどう役立つか」 慶応義塾大学教授 森 敬	昭61.5
No.22	明治におけるエコ・テクノロジー 山本書店主 山本七平	昭56.5	No.51	「エコ・テクノロジーの宇宙的観察」 コーネル大学天文学および宇宙科学教授 カール・セーガン	昭62.2
No.23	西ドイツから見た日本 電気通信大学教授 西尾幹二	昭56.6	No.52	「人間はどこまで機械か」 東京大学教授 古川俊之	昭62.2
No.24	中国の現状と将来 東京外国語大学教授 中嶋嶺雄	昭56.9	No.53	「中国人とどのようにつきあえばよいか」 東京外国語大学教授 中嶋嶺雄	昭62.5
No.25	アメリカ人から見た日本及び日本式ビジネス オハイオ州立大学教授 ブラッドレイ・リチャードソン	昭56.10	No.54	「舞台の奥のヨーロッパと日本」 演出家 寺崎裕則	昭62.5
No.26	人々のニーズに効果的に応える技術 GE研究開発センターコンサルタント ハロルド チェスナット	昭57.1	No.55	「日米関係の現状と展望」 経団連特別顧問 大河原良雄	昭62.5
No.27	ライフサイエンス ㈱：変化成生命科学研究所人間自然研究部長 中村桂子	昭57.3	No.56	私の半導体研究 東北大学教授 西澤潤一	昭63.1
No.28	「錬金術 昔と今」 理化学研究所地球化学研究室 島 誠	昭57.4			
No.29	「産業用ロボットに対する意見」 東京工業大学教授 森 政弘	昭57.7			