



学術誌が採択しない裏話

中井 順吉*

【学会誌掲載不可とされた価値なき論文にも価値あるものがある】

現在発行されている学会誌に掲載されている研究論文の数はいかほどあるか？ 専門分野ごとにわけてもその数は膨大である。しかもそのほとんどは成功したという論文である。以下の記録は研究論文ではないし、雑談記事としても価値なしとして学会からは見向きもされない。そのようなものを読めというのは殺生な話であるが、御容赦願いたい。何かの参考となれば幸いである。

【設備が一分に、頭が二分、残り七分が土根性—設備がなければ工夫をしよう】

昭和20年8月、日本は世界大戦で完敗した。その結果、食糧をはじめ、あらゆる物質の欠乏が国民の肩に重々しくのしかかった。右をみても左をみても研究設備は殆ど無にひとしかった。その中でも旺んであったのが主として紙と鉛筆のできる研究であった。たとえば、電気回路構成論とか、超高周波導波管の伝送特性などである。一方、私については、菅田栄治先生（現在・大阪大学名誉教授）が電子管の研究を目差し、大戦前から準備されていた真空排気台や、電源を入れるとバリバリと猛烈な音をたてる火花放電式高周波誘導加熱装置その他があり、これらを用いて電子放電体に関する研究に従事するように命じられた。

現在では放送受信用真空管などはめったにお目に掛かれぬ代物であるので、まず、基本的な三極管の構造について示すと図1のようになる。鉛ガラスで作られたステムのうえに、陰極、格子、陽極などが組み立てられている。ステムを通る導線の一部はガラスと熱膨張係数がほぼ等しく、ガラスとよく馴染んで気密を保つ

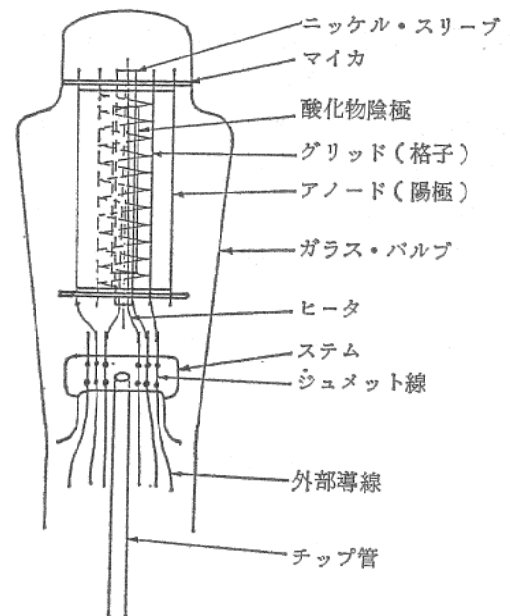


図1 三極真空管

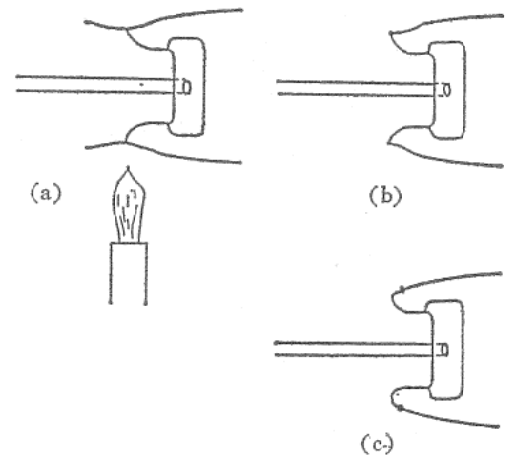


図2 ステムとバルブの接合

ジュメット線となっている。

さて、電極等を組み上げられたステムは、図2 aに示すようにガラスバルブの中に入れられる。そして、バルブをくるくる廻しながらガス焰をあてると、バルブは縮小してステムにくっつく。バルブの余分のところを引っ張って取り

*中井順吉 (NAKAI Junkichi), 大阪産業大学, 工学部教授, 大阪大学名誉教授

去ると図2-b のようになる。ここで最も歪力が大きい接合部を鋭角の状態のまま放置してしまえば、冷えるとひび割れてしまう。それでステムとの接合部がガス焰加熱後でまだ温度が高く、柔らかい状態にあるうちにチップ管を少し引き、図2-c のようにステムが外側にむけて、接合部が外側に出るようにする。これにて組み立て一丁上がりである。

真空管の電極材料は、チップ管を封じたあとゲッターの作用を有効かつ永続ならしめて真空を維持するために、清浄表面をもち、吸蔵ガスが微少であることが必要である。このため電極材料は封入前に水素処理をおこなう。当節ならば、また、当時でも工場では電気炉を用いるところであるが、当時の我々にとっては高価なもので、全くとんでもない高嶺の花に過ぎなかつ

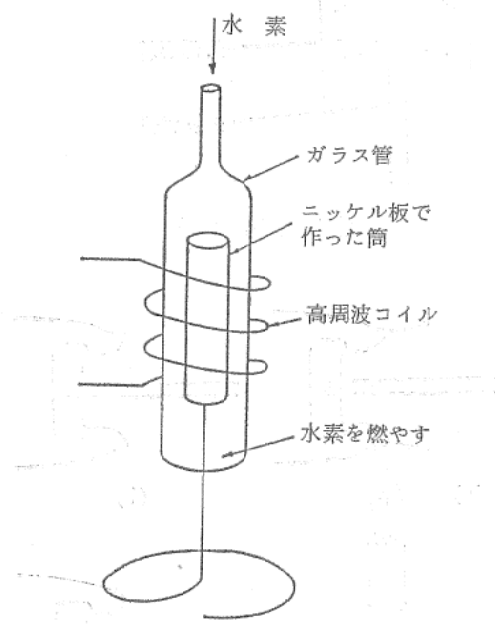


図3 簡易水素処理

た。それで思い付いたのが図3の方法である。

太いガラス管中にニッケル板で作った籠をガラス管壁に接触しないように入れる。この籠の中に電極材料を入れる。水素をガラス管の上方の口から流しつつ籠を誘導加熱する。かくて水素処理が出来るようになった。水素は他の気体よりとくに軽い。上方の口より流せば、管中を満たしながら下方へと流れる。下方の口のところで水素を燃やす。これは大変重要なことで、

もし燃さなければ水素は部屋の天井付近にたまり爆発の危険がある。したがって、天井をとくに張った部屋とか、換気がよくない部屋では水素を取り扱わぬがよい。

【有機溶剤の取り扱いに気をつける】

真空管に関する研究を行うにさいして、ガラス管を細工することが頻繁におこる。このときまずガラス管やガラス容器の内部を水で洗浄したあと乾燥する。通常はガラス管を立て掛けて自然に乾燥させる。ガラス容器のときは放置しておき、気長に乾燥を待つのが通常である。しかし我々は先を急ぐので、次の方法をとった。図4 a に示すように、ガラス管中にガーゼを詰め、容器中の水を吸い上げたり吹き下したりすると、ガーゼが濡れて気密となり、呼吸吸気に応じて上下運動し、ガラス管内壁はガーゼにより拭かれ、水洗されてきれいにされる。ついで図4 b のようにガーゼを取り去り、アセトン容

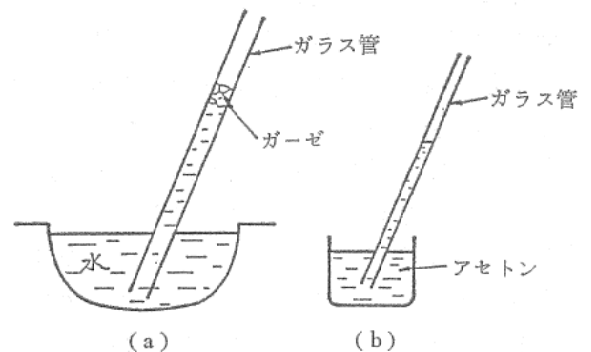


図4 ガラス管の洗滌

器に先端を浸し、他端に口をあててアセトンを吸い上げ、それについて吹いてアセトンを容器中に戻す。この操作を数回繰り返したあと放置すると、アセトンは揮発性有機溶材であるから急速に蒸発し、管壁は速やかに乾燥する。その結果、ガラス管等はすぐに用いることができた。

また、このあと主として真空蒸着膜の研究がおこなった時代にもアセトンを十分に吸入することとなった。真空蒸着は図5のような装置で行われるが、蒸着のその都度ベルジャー（真空槽）内部が蒸着物質の付着で汚されるので、清掃をしなければならない。このときベルジャー

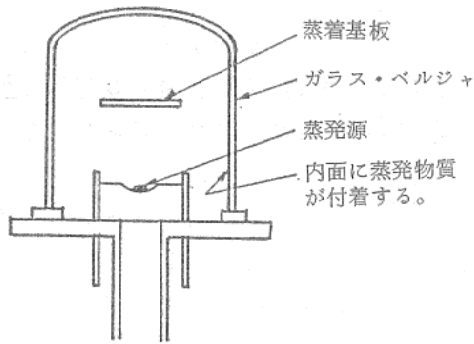


図5 真空蒸着装置

を横むきにとか、あるいは仰むきにしてアセトンを通し込み、頭を半ばベルジャーに突っ込んでアセトン蒸気を吸いながらごしごしと隅から隅へと拭いていった。

現在では有機溶剤は有害とされ、使用には慎重な方法が取られ、まして使用済み溶剤を処理せずに捨てるなどはもってのほかのことである。しかし当時としては別段喧しくもなく、気にも留めていなかった。このほか酸化物陰極を被覆するときの溶剤の錯酸ブチルや錯酸アミル等のバナナ臭はよく、その臭いに酔っていった。しかし、アセトンを直接吸い上げたり、蒸気を吸ったり、しかも1日何回も繰り返してということでは、健康障害の起こらぬ筈がない。はたして腹に激痛がきて、肝腎機能障害と診断され、生まれて初めて入院する仕儀と相成った。

【測定方数に一工夫加えよう—変調測定法のはしり】

酸化物陰極の性質は作り方や使用状態により大きく変わる。製作工程中である操作をしてそれが有効か無効かの判定は難かしく、そのためには数多くの試料を作らねばならない。さて、我々は当時研究課題として、大学院生の中村君（現在・産業科学研究所教授）の提案により、酸化物陰極用ニッケル・スリーブの表面処理を取り上げることとなった。

スリーブ表面を電解処理して用いると、しない場合に比べて放出電子流が大となる現象がある。これを確かめるのに、電解処理したときと、しないときをそれぞれ別個の真空管を作って比較していたのでは、試料ごとの放射電子流の大きさがばらついて、なかなか結論がでない。そこで取った方法は以下のごとくである。

図6のように、一本のスリーブの長さ方向の片側半分のみを電解処理をして表面を清浄ならしめ、この上に酸化物を被覆し、図7のように中央両側に相互に対称となるように一定長さの部分を残し取り去り、図8のように、それぞれに別個の陽極をつけ、陰極のニッケル・スリーブを共通にした一対の二極管が同一バルブ内にあるものを作り、真空排気と封止をする。陰極加熱ヒーターに点火し、熟成を行ったあと、放

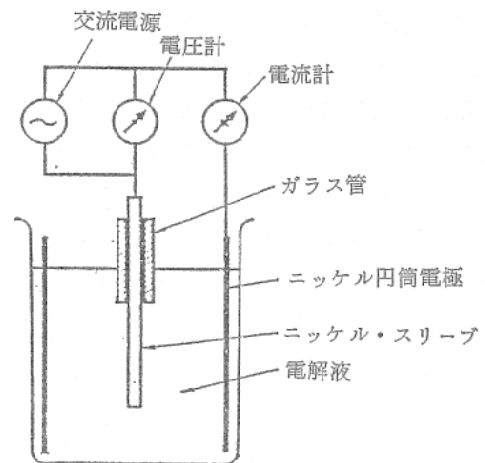


図6 ニッケル・スリーブの電解処理

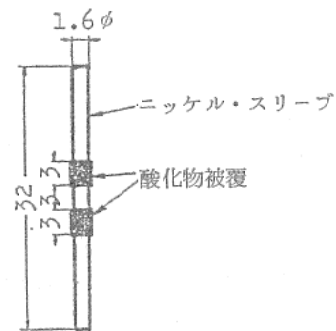


図7 試料の酸化物被覆

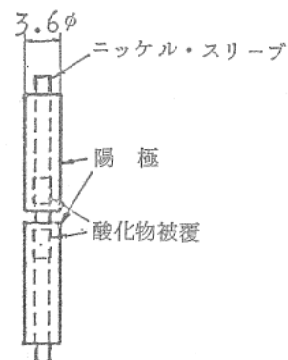


図8 試料の陰極と陽極

出電子流の大きさを測定する。放出電子流の大ききの電解処理側の値の非処理側の値にたいする比を求める。この比はニッケル・スリーブの電解処理以外は同一条件で作られた二つの酸化物陰極の比較結果を示し、比較的少数試料により電解処理の有効か無効かの判定ができる。ただし、酸化物がスリーブの上半分にあるか下半分にあるかの影響は免れぬので、処理側を上または下にそれぞれした試料を作る必要がある。

試験の結果、ニッケル・スリーブの電解処理は有効で、ときにより数倍以上の大きな放出電子流のえられることが分った。このようなことの起こったのは、スリーブを作っていたのが戦時中に軍隊ラップを作っていた工場で、一枚の平板から引き抜き法により細いチューブを作る技術が生かされていたのである。そのため陰極スリーブとしては大問題であるところの熱加工等による表面の汚れなど一向に気にされておらなかったからである。

このように一つの試料の中で、ある特定の変化を与え、それが与えられなかった場合との特性の変化を抽出して測定し、試料の特性の異常点等を知る方法は、このあと光物性研究などにおいて採用した変調分光法の走りの技術ともいえる。

【特許となるようなものを見つけたら、すぐ特許申請をすること】

ニッケル・スリーブに対する電解処理は有効なことが分った。そこで電解処理条件の溶液濃度、温度、電解電圧電流、それにエチレン・グリコールのような電解をまるやかにする添加剤とその濃度、その他を整えて特許申請をした。これに対する回答は、H社の異議申し立てにより否となった。

大戦後我々は今日のように自由に外国雑誌を購入することは許されなかった。手にすることの出来るのは、関西地区では米国総領事館における閲覧だけである。それも輸送の都合で東京地区よりは数日遅れる。H社の申し立ては何月何日東京着の雑誌中に我々の特許申請と同様記事がある。我々の申請はこの雑誌の東京着に遅れること3日、従って日本国内においては申請

事項は公知の事実であるということであった。かくて本件はうやむやとなってしまった。しかしこの種の処理は当時の受信用真空管の量産製造工程に組み込まれていた。知らぬうちに皆様の家庭で使用されていたのである。

【さりげない雑誌の一行の記事にも、重要な研究課題の種が潜んでいる】

S社よりタンタル膜で集積回路を作ると、各方面に有用なものができるからといって、製造方法について協力を求められた。タンタルは高融点金属で、通常の高温加熱の方法では蒸着膜を作れない。それで一般にはスパッタ法を用いる。しかしこの方法は放電を用いるため、真空槽中あちらこちらで異常放電をおこし、一定の

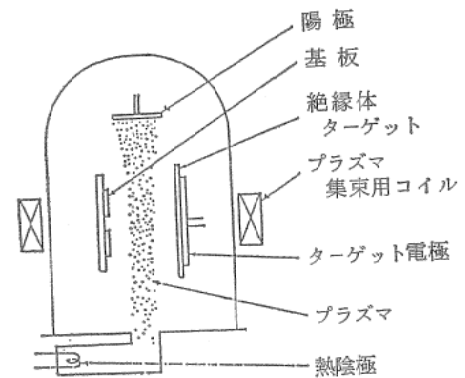


図9 プラズマ・スパッタ法

膜を安定に製造できない。この方面の文献を調べてゆくうちに、図9に示すようなプラズマ・スパッタ法が比較的良好な結果を得るのではないかということになり、実験の設備の試作に着手した。

このときアメリカの通俗雑誌に高周波を用いれば、絶縁体でもスパッタできるとの一行の記事が目についた。すなわち、絶縁体の薄膜を得べく、陰極として絶縁体をもってきて、直流的スパッタをしたのでは、放電は停止しスパッタは出来ない。それは放電ガス中の陽イオンが負電極に衝突し、負電極表面物質分子を飛び出させるのがスパッタである。このとき負電極に正電荷を帯びたイオンが入るから、負電極表面が絶縁体であると正電荷が蓄積して正電位となり、後続のイオンを反発し、放電は停止してしまう。もし放電電源として高周波電源を用いれば、陰陽両イオンが交互に電極に入り、蓄積電

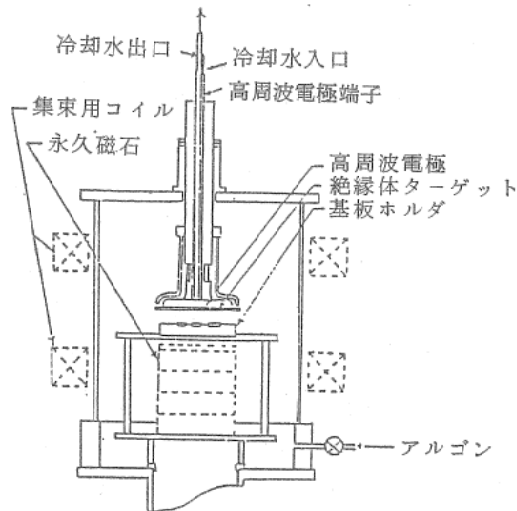


図10 高周波スパッタ装置

荷を中和する。このため放電は維持され、スパッタは高周波周期毎に繰り返される。図10はこの種のスパッタ装置の一例である。高周波導入部は同軸系とし、不要放電を防ぐ対策が講じられている。

また、一对の電極間で放電を起こさせておき、そのプラズマの傍らに絶縁体電極をおき、高周波電圧を与え、陰陽両イオンが交互に絶縁体陰極に入るようにすると、スパッタは継続して行われ、また、不要放電等の問題は極めて楽になる。N社ではさらにトリガー電極をつけ、放電がより安定したものを製造している。

以上の高周波スパッタ法なるものは、わが国においては、無名に近い外国の一通俗雑誌の一行のニュース記事からスタートしたものである。それが今日では集積回路技術その他に無くてはならぬものにまで成長している。

【神の作り賜うた大自然は神秘にして、人の知り尽くそうとして尽くせぬものである】

東海の涙のまさごは尽くるとも、世に研究の種は尽くまじ。

我々の身のまわりには、まだまだ素晴らしい研究課題が残されている。トランジスタの発明があって、世は固体電子工学の時代となった。その結果、真空管に関する研究は下火となり、我々も転向することとなった。半導体工学というのは結晶という整然とした状態を基本としたがために成功を収めている。その逆が粉末である。しかし、この状態では焼結型にするなどの

方策をとらなければ、電子工学的にはどうにもならない。それで半導体工学という一時代を一挙に飛び越えてバラバラの微結晶集合体であるところの薄膜に関する研究に携わることとなった。

まず最初に手懸けたのが斜方向蒸着膜の高光起電力である。図11に示すように、ガラス板上にゲルマニウムを斜め上方から真空蒸着する。このような試料に光をあてると、両端の電極間に電圧が現われる。この起電力の大きさは電極

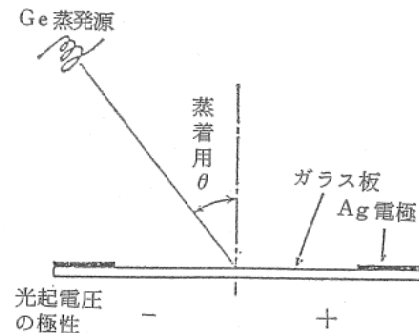


図11 斜方向蒸着

表1 Ce 斜方向蒸着膜の光起電圧

		光起電圧測定値	単位長当りの光起電圧*
大気中	室温	2.2V	37V/cm
真空中 (4×10^{-3} mmHg)	室温	7.5V	125V/cm
	液体窒素で冷却	>330V**	>5500V/cm**

蒸着角=60° 膜厚=60Å 膜長=0.6mm 膜幅=10mm

*: 光起電圧は膜長に比例する

** : この値は測定装置の最大測定範囲による制限をうけた値である

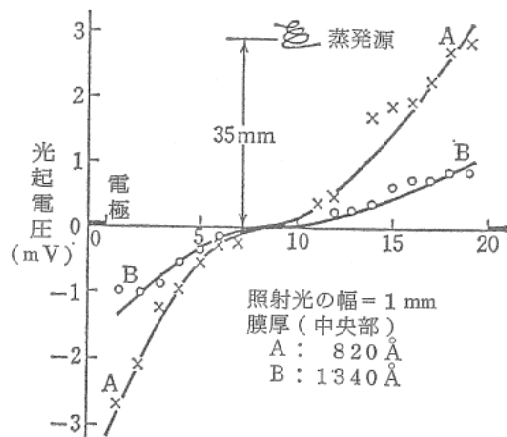


図12 ゲルマニウム斜方向蒸着膜における光起電力分布

間隔が大きいほど大となる。表1は太陽光程度の強さの光をあてたときの例である。これは試料を真空中で液体窒素温度に保ちながら測定したもので、長さ1cm当たり10kv程度の光起電力の発生を認めている。

半導体素子に発生する光起電力は、その半導体の禁止帯幅（ゲルマニウムときは0.7v）よりも大にはならないというのが常識で、理論的にも通常の場合いえるところである。それではこの現象は如何に説明されるか。

図12のように、蒸着を基板ガラスの中央上方から行った試料にビーム状の光をあて、光起電力分布を測定すると同図に示すごとくなり、光起電力の方向は蒸着方向に依存し、蒸着角が大になると光起電力も大になること、光起電力は長さ方向に積分された値が電極間に現われることが分かった。試料は真空蒸着膜であるから、微結晶集合体で単一結晶性を持っていない。また、斜方向蒸着であるから微結晶の結晶軸は基板面に垂直な方向に対してある角度をもち、蒸着源の方向へ傾斜している。ここに光があたり光起電力が発生したとき、基板に平行な成分をもつこととなる。膜の厚さはミクロン・メータ以下であるため、電極間に配列した微結晶の数は極めて大きく、個々に発生した光起電力が微小であっても、それらが加わって電極間には大きな電圧として現われる。この光起電力の正負の方向や大きさは、蒸着直後の真空中、真空槽中で最初に触れるガスの種類、大気中に取り出

したときはその雰囲気、温度その他で変わることのほか、あてる光の波長に関係し、光波長分布を測定すると、光起電力の極性が逆転することがある。これらのことは微結晶相互間の接触または表面の問題が関与していることを想像させるが、機構については未解決である。

以上の現象は、はじめ化合物半導体について発見され、わが国に紹介された。その時点で我々が元素半導体のゲルマニウムに置き換えて取り上げた。この現象は何故かあまり関心と呼ばず、研究課題としたところは少ない。しかも外国崇拜とでもいおうか最初に取り上げられた三・五族化合物半導体についての研究を行っている。我々が元素半導体をとったのは何故か。それは化合物半導体蒸着膜は真空蒸着条件、蒸着膜組成、膜構造などが複雑に絡み、取り扱い難いためである。元素半導体を取り扱うことにより、理論的にも楽になる。

以上の研究課題は本件担当の研究協力者の転出及び他界により中断のやむなきにいたっている。ここにしめしたように、大自然のなかには通常の判断力をもってしては考えにくい現象がある。それらの問題を解きほぐし、人間社会に寄与するよう努力することも、科学者に与えられた使命の一つでなかろうか。

おわりに記したい言葉

【花形研究とは、いま最盛期にあるものではない。将来に咲き誇るであろう花のつぼみである】