



基礎研究から生まれた実用デバイス —ソニーマグネトダイオード (SMD) —



山田 敏之 (元ソニー中央研究所長)

1. はじめに

もう 40 年以上も昔のことである。昭和 43 年 3 月、ソニーから新しい高感度磁気センサーが発表された。ソニーマグネトダイオード (Sony Magnetodiode)、略して SMD と名付けられたこの素子は、エサキダイオードに続くソニーの快挙としてさまざまなマスメディアに大きく取り上げられ、この種の半導体素子としては空前の (そして今までのところ絶後のといっても良いだろう) 大きな反響を巻き起こした。過ぎ去ってみればまさに "Much Ado About Nothing" だったのだが、しばらくの間筆者自身もその開発者として「時の人」となり、多くの週刊誌をはじめマスコミに翻弄され続けた。

そうした華々しい扱いは、後述するようにソニーの広報部門の努力にも因るのだが、昭和 43 年といえば、外ではベトナム戦争が泥沼化し、内では学生闘争が過激化するなどといった世相の中で、社会が明るい話題を求めているという背景もあったのだろう。29 歳の若い研究者が、役に立たないと言われていた基礎研究から、実用的な素子を生み出したというその話題性が、社会に夢を与え、実際の価値以上の幻影をそこに見出したものといえよう。

2. SMD とは何か？

ソニーマグネトダイオード、今では知る人もない半導体デバイスであるが、名前の示すごとくダイオードであり、その I-V 特性が磁界によって大きく変化する性質を持つ。その変化量から磁界の向きや強さを知ることができるもので、ホール素子や磁気抵抗素子などと同じく磁気センサーの一種である。

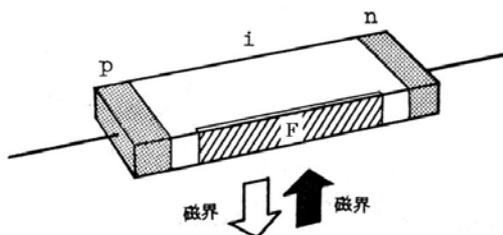


図 1 SMD の構造

図 1 に示すように、通常の pn 接合の中央に長い i (intrinsic) 領域を設けた、long p-i-n diode と呼ばれるものであり、i 領域側面の表面再結合速度を一つの面 (F 面) では可能な限り高くし、その反対側の面及びその他の 2 面では可能な限り低くした構造を持っている。

材料はゲルマニウムであり、0.6×0.4×4mm 程度の棒状の素子両端に In (p 型) と Sn-Sb (n 型) 電極をアロイし、細い縫り線リードをつけたものである。

この素子に順方向バイアスをかけると、もともと i 領域に存在する電子や正孔に比べて遥かに多量の電子が n 側から、正孔が p 側から注入され、いわゆる伝導度変調を生じる。

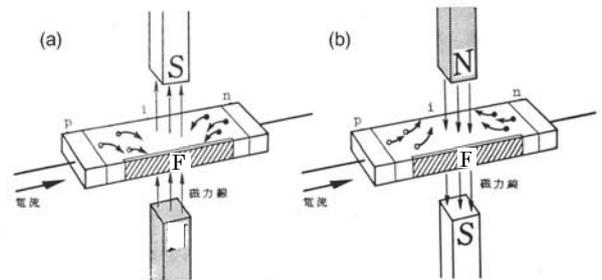


図 2 SMD の動作原理

この状態で F 面に平行な方向に磁界を加えると、図 2 に示すように、磁界の向きによって (a) のように電子 - 正孔対が F 面側に押し付けられるか、あるいは (b) のように F 面から遠ざかる方向に曲がる。前者の場合は F 面における表面再結合によって電子 - 正孔対が速やかに再結合するので、伝導度変調率が下がり、その逆の場合は F 面の影響が相対的に下がるので、磁界のない場合より伝導度変調率が上がる。こうした理由によって I-V 曲線は磁界の向きと強さに応じて変化する。この特性を利用すると、従来のホール素子や磁気抵抗素子に比べて 100 倍から 1000 倍くらいの磁気感度が得られ、幾つかの家電製品や業務用機器に採用されることになった。

3. 開発の背景

わかってみれば、その動作原理は既知の半導体理論の寄せ集めで説明できるものであり、エサキダイオードがトンネル効果という新しい物理現象を導ききっかけとなり、後年江崎玲於奈氏がノーベル賞に輝く理由の一つとなったのに比べて、とてもその再来というに値するものではない。わざわざ本誌の記事として取り上げるべきほどのこともないだろう。しかしこの素子は、さして役に立たないものと見做されていた基礎研究から、ふとしたはずみで実用デバイスとして世に出たという意味で、いわば技術開発史の一つの挿話としての観点から記録にとどめておきたいと思う。

昭和 30 年代中頃から、我が国でも中央研究所ブームというものが起こった。半導体の表面現象の研究からトランジスタが生まれ、そして集積回路へと発展していく大きな時代の流れの中で、それに続く新発明を期待して、各メーカーが競って基礎研究所、中央研究所を設けた。ソニーもご他聞にもれず、そうした時流に乗って、昭和 36 年横浜に図 3 のような研究所を新設した。初代所長に当時電気試験所（今の産業技術総合研究所の前身）物理部長であった、日本の半導体研究の草分けの一人鳩山道夫博士（鳩山由紀夫・邦夫兄弟の伯父にあたる）を迎え、「目先の金儲けに囚われず、真理を探究する研究の中から次世代の新技术を生もう」という精神のもとにスタートした。



図 3 ソニー研究所（昭和 36 年設立当時）

ちょうどその年にソニーに入社した筆者は、新設されたばかりの研究所に配属され、オシリススタという固体プラズマ現象の研究に携わることになった。新しい物理現象を発見し、集積回路では作り得ないような機能素子を開発するのが長期的な目的であった。今にして思えば集積回路の将来を正しく予見し得なかった不明を恥じるしかないが、物理学上の新発見を工学応用に結び付けることが、当時の企業研究者の大きな夢で

あったことが懐かしく思い起こされる。

ところが何年も経たないうちにそのブームも冷め、いつ利益に貢献するとも知れぬ基礎研究への投資が見直されるようになってきた。ソニー研究所でも新しい所長のもとに研究方針が変わった。当時筆者が行っていたような液体ヘリウム温度における半金属（ピスマス）中の固体プラズマ現象の研究などは、明らかに方向転換を迫られるものであった。今風にいえばまさに「仕分け」の対象だったわけである。

そうした矢先、本社の開発部門よりブラシレスモータに使うために感度の高い磁気センサーを開発して欲しいという要請があった。当然ホール素子など既存素子の改善という方法も検討されたが、要求されたスペックに合うものは出来ない。そんなとき、入社後しばらくの間オシリススタの研究をしていた頃、試料によって磁気の影響の受け易さがずいぶん異なったことを思い出した。大事にとってあった当時の試料をいろいろ比較検討し、またその原因をあれこれ考えているうちに、ふとしたきっかけで表面再結合速度の非対称性に関係があることに思い至った。世にいうセレンディピティである。仮説 - 検証を数度繰り返すうちに、現象の本質が見えてきた。それが図 2 に示した動作原理である。そこから先は一瀉千里というか、とんとん拍子に開発が進み、発注元の開発部門からも実用の可能性ありとお墨付きを貰うことが出来た。

4. 広報戦略の成功

ソニーはエサキダイオードの発明の際、関連特許を出願する前に公表してしまったために、取れるはずの特許も押さえ切れなかったという苦い反省があった。その轍を踏まぬため、この開発は極秘扱いにされ、現象の発見からほぼ 2 年かけて、原理的なことはもとより、製造方法や応用技術はもとより、関連商品の特許も十分固め、ソニー製品の一部に採用することまで決めて、ようやく発表に漕ぎつけた。

その発表に際して一つ裏話がある。当時のソニーは出遅れたカラーテレビ競争に、トリニオンカラーテレビで一挙に起死回生を図ろうとしていた。その広報戦略として、まず SMD を大々的に発表して前景気をつけ、それに追い討ちをかけるようにしてトリニオンを発表することで、広報効果を高めようとしていたため、腕利きの広報マンが秘策を凝らしたのである。

その狙いは見事にあたり、冒頭に記したように大きな広報効果をあげることができた。ところが皮肉なもので、SMD の発明があまり大きく扱われ過ぎた結果、本命のトリニオンカラーテレビのデビューがすっかり霞んでしまった感があった。もちろん現実のビジネ

スでは、トリニトロンが以後何年にもわたってソニーの屋台骨を支え、またその優秀性のためにかえって薄型テレビの開発競争に出遅れてしまったというほどの大きな意味を有したのに対して、SMD は比べるべくもない小さな存在だったことはいまでもない。

5. 実用素子の特性と応用

鳴り物入りの登場を果たした SMD は、全く手工業的な手法ではあったが生産ラインもでき、レコードプレーヤやカーステレオなどソニー製品への応用や、社外での実用化が進み、いちおう順調なスタートをきったといえる。図4は昭和43年に商品化されたゲルマニウム素子の、同じく図5は SMD を搭載したソニー製品の例である。

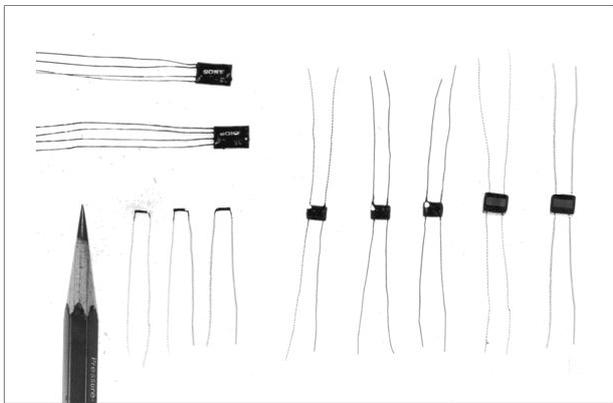


図4 SMDの外形写真



図5 SMDを使用した製品例

図6には昭和43年のカタログに記載された素子特性を示す。磁界の強さの単位を kOe (キロエールステッド) で記してあるところに時代が感じられる。当時はまだ SI 単位系が一般化していず、磁界の強さは kOe、磁束密度は G (ガウス) で表すのが普通であった。

$1 [\text{Oe}] = (1/4\pi) \times 10^3 [\text{A/m}]$ 、 $1 \text{G} = 10^{-4} \text{T}$ である。

しかしこの素子には本質的な欠陥があった。原材料にゲルマニウムを用いているため温度特性が悪いことがまず挙げられる。その問題を回避するため、図7に示すように、2つの特性の似た素子を F 面の向きが逆

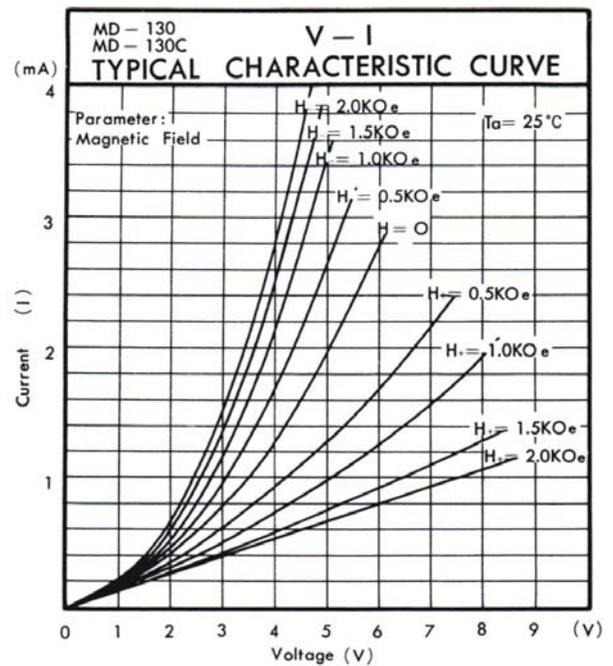


図6 SMDのI-V特性

になるように接続し、温度などによる変化は両素子に均等に加わり、磁界による影響のみが両素子逆に働く方法を考案した。これで温度特性の問題はある程度改善されたが、大きさやコストの点ではハンディキャップとなった。

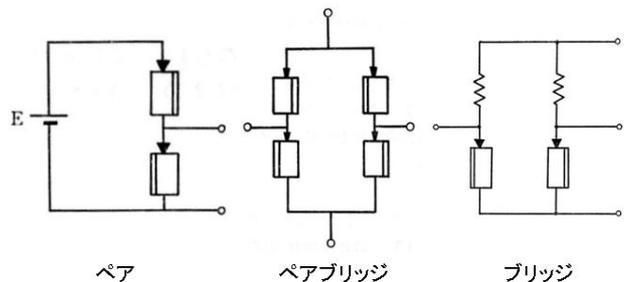


図7 SMDのペア、ブリッジ接続

また、表面再結合速度が重要な役割を果たしているにも関わらず、ゲルマニウムの表面を安定に保つことは容易ではない。結果として感度は高いが磁界以外の要因による変動も大きく、SN比や対環境性という意味では問題を残していた。

そうした理由から磁界(特に直流磁界)を精密に計測する用途には向かず、高精度を要しない交流磁界の測定あるいは近接スイッチのような用途にしか使えないということが漸次明らかになってきた。その欠陥を克服できるシリコン素子の開発も行い、相応の成果を得たものの、実用化にはまだ遠いものであった。

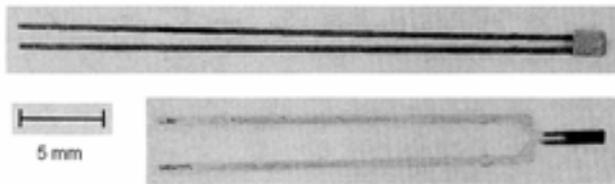


図8 シリコン SMD 試作品

図8にシリコン試作品の例を示す。

ゲルマニウム製であれ、シリコン製であれ、この素子は近代的なシリコン IC 技術の本流とは異なるものであったため、製造コストが高く本格的な実用化の壁となった。そしてもっと本質的な時代の変化は、IC 技術が急速な進歩を遂げ、ホール素子など既存デバイスと IC の組み合わせにより見かけ上感度が高く使いやすい素子が得られるようになってきたことである。

その当時ほどの研究所でも、IC にはできない機能素子を作ることを目指して基礎研究を行っていたことは前述したとおりだが、ほとんど見るべき成果を残すことができないまま、半導体技術の進歩はもっぱら IC の微細加工、高集積度化に向かっていった。

SMD は一時期ドイツの某メーカーから全くデッドコピーといえる素子が発売されたこともあったが、それもいつしか消えていき、民生用としても一部のソニー機器に用いられたのみで、開発目的であったブラシレスモータにも、コストや耐環境性などの面から結局は試作品止まりで、実用化されることはなかった。

社外でも実にさまざまな応用が試みられ、実用化されたものもあったが、最も長期間にわたって実用に供されたのは、鋼板や鋼管などの磁気探傷機用センサーとしてであった。40年を経た後もその補修部品として細々と需要があり、ソニーから技術移転した企業において、40年前と変わらぬ手法で少量ながら生産されていると聞く。これだけ技術革新の激しい半導体の世界にあって40年以上も同じ方法で生産を続けてきたことは、まことに稀有のことと言わねばなるまい。

6. おわりに

前にも書いたとおり、この素子は、基礎研究で培った知識、基礎研究が否定されたという危機感、新しい素子の開発ニーズなどが期せずして一点に会したところに誕生したものである。動作原理の着想はセレンディピティともいえるものであった。そのチャンスを生かすことができたのは全くの僥倖といわねばならないが、その僥倖はまたそれ以前の蓄積なしには訪れなかったことも確かである。40年前と今とは、技術の深さも広がりも比べ物にならぬほど進化していることは疑いないが、それでも発明発見に至る本質は変わらな

いといってよいだろう。

もう一つ筆者にとって幸せであったのは、自らが着想した素子に関して、原理解明から、実用化開発、生産技術、応用開発、顧客支援などあらゆる局面に携わることができたことである。これは小さな取るに足りない素子であったからこそ可能であったともいえるが、そうした幅広い体験が、その後の人生において多彩な業務に取り組むのに役立ったことは明らかである。

半導体素子の中でも一つの小さなあだ花に過ぎない SMD が、大きな話題を社会に与え、ほんの一瞬ではあるが、世の中に技術の新しい息吹を感じさせることができたのは、いつにかかって当時ソニーという若い企業に世間が大きな夢を抱いていたからといえよう。あれから40年を経てソニーも変わった。人間と同じで企業もいつまでも若さを保つのは難しい。ソニーだけではない。日本という国も明治維新後の西欧化、富国強兵といった時代、第二次大戦後の焦土復興、高度成長といった時代などに見られた国全体の若さを今や失ってしまったといってもよいだろう。

筆者自身はその後ソニー社内ですまざまな仕事に従事した後、18年ぶりに古巣の中央研究所に所長として戻った。そして還暦とともに、学校法人ソニー学園に移り、11年もの間短期大学経営に携わり、また社会福祉法人を作り保育園を新設するなど、全く技術の世界から遠ざかっていた。そして2009年からは社団法人日本工学アカデミーという非政府組織の専務理事職に就いている。この組織は工学分野で顕著な成果をあげた有識者の個人会員およそ650人と、技術関連企業の賛助会員、海外客員会員などよりなり、政策提言、海外諸国工学アカデミーとの共同事業、シンポジウムや講演会開催など多彩な活動を行っている。

本稿を執筆している2009年末の時点では、総理、副総理、官房長官、文部科学大臣などの政府首脳が理工系出身という我が国最初の政府に対し、新しい科学技術政策はいかにあるべきかという提言を行っているが、そこでの主張の一つが、科学研究の成果を効率よく迅速に経済価値・社会価値に結びつける過程こそ真の「イノベーション」であり、それを効果的に行えるよう国家政策をより充実させるべきであるという点にある。40数年前にほんのささやかなイノベーションに携わった身として、そうした活動に多少なりとも貢献できれば、かつてその場を与えてくれた会社と社会への恩返しになるともいえるだろうか。

(社団法人日本工学アカデミー 専務理事)