

「電子デバイス技術の行方」誌より

2010年頃、エレクトロニクス技術に関連した月刊誌が続々廃刊になりました。例えば日経エレクトロニクスデバイス、電子材料、セミコンダクターFPD ワールドなど、毎月面白い特集号を組んで読者の技術力を高める大きな役割を果たしていましたのに。

少し大袈裟に言えば、日本のエレクトロニクスのレベルアップのためには、この種の月刊誌が重要と考え、有志が発行しようと言うことになり、日本工業出版社にご賛同を頂き発行に漕ぎつけました。ところが、出版社の都合で創刊号だけで終わってしまいましたので読んだ人はほとんどいないでしょう。創刊号では、私(加藤)も張り切って幾つか執筆しました。その中から現在読んでも十分面白そうな原稿を載せることにします。ただし、現在ではやや間違っていたりする個所やコメントを赤字で記入しました。以下は、私の手元にあった原稿ですので、実際の雑誌とは少し差があるかも知れません。

創刊号を飾るため、西澤潤一先生を上智大学に訪問し取材させて頂きました。西澤先生は、半導体や通信関係で数々の独創的な研究をされたことで知らぬ人はありません。例えば、光ファイバー、半導体レーザー、SIT半導体素子、イオン注入技術などは世界的な発明です。更に東北大学学長、首都大学学長として若者の教育に貢献されました。今回、上智大学にお邪魔して、約2時間の取材をさせて頂きましたが、筆者が喋ったのは5分ぐらいで、ほとんど西澤先生の独演でした。お元気な先生でしたが、2018年にお亡くなりになり、日本の科学にとって大きな損失となりました。

目次	Page
Mr. 独創技術開発 : 西澤潤一先生に聞く ———	P 2
いよいよ打って出るロームの SiC ビジネス ———	P 9
最も注目される急成長 LED 産業 —————	P 1 4
日本デバイス産業の活性化を願う —————	P 2 2

Mr. 独創技術開発：西澤潤一先生に聞く

1. 先生の「生い立ち」を教えてください。

◆父親：愛知出身(次男)、東北大学の工学部長を務めた。

母親：東京出身。

弟：成績のきわめて良い模範的な秀才。

父親は「弟は優秀だが、兄はさっぱりだめ」と言っていた。

◆1945年3月に東北大学に入学、仙台に空襲があった。8月に終戦。

◆大学では、最初は医学部を考えていたが、父親から「理学部ではつぶしがきかないので工学部へ行け」といわれ従う。

◆終戦の焼け跡で、どうすればみんなが食べていけるかを真剣に考え、

⇒有力な資源のない日本が生きる道は、科学立国以外にはないと思い至った。

⇒新しいものを創らねば。正に工学部ではないか！工学部に進んだことを、良かったと思っている。

2. 大学院での半導体研究は？

抜山(平一)先生の推薦で、渡辺(寧)研究室を選んだ。ゲルマニウムでトランジスタができたと聞いて、半導体研究に飛び込んだ。渡辺研究室は理論中心で計算ばかりしていたが、私は実験が必要と考えていた。

当時はGeが目玉の的であったが、へそ曲がりのためSi材料で色々と実験を繰り返し、どうもPINが一番良いのではということになった。それが、PINダイオード、PNIPTランジスタ、更にSITの発明へと繋がっていった。

PINというと耐圧も高いが、結晶が良くないと大変。悪い結晶を使っているから良くしなければいけないということがわかった。

<筆者補足>

西澤先生は次のような極めて先駆的な発明をされている。

◆PINダイオード: 1950年に特許申請された。

イオン注入で半導体中に高抵抗層を形成すると、空乏層の広い高耐圧のPINダイオードとなる。

◆イオン注入: 1955年に理論特許として申請されたが、1970年に切れた。

◆FETの飽和特性解明の過程で、FETの負帰還作用をゼロに近づけると、三極管特性をもつ静電誘導トランジスタ(SIT)の発明へとたどり着いた。

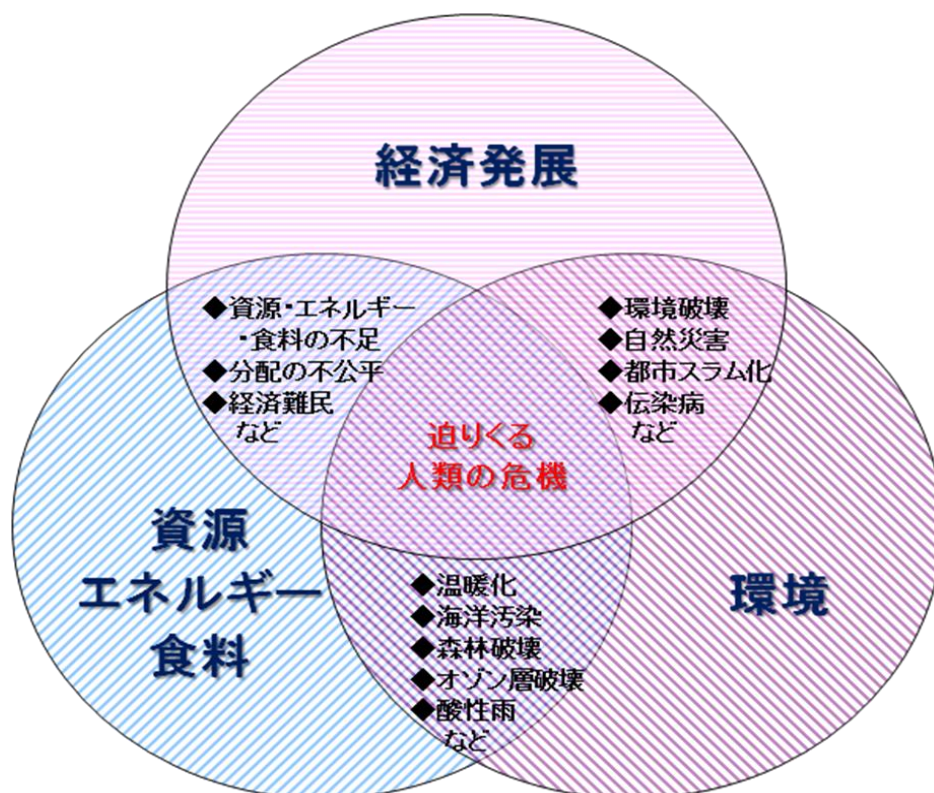
◆静電誘導サイリスタ(SI); ゲートに小さな交流電圧を加えるだけで大きな直流電流を高い効率で、ゲートに加えたと同じ周波数の交流電流に変換できる。

3. グリーンテクノロジー

地球環境の安定のため、世界中で“グリーンテクノロジー”の重要性が叫ばれており、その中でも特に、エレクトロニクス関連技術が果たす役割はますます大きくなってきて

いる。

PINダイオード、SIT、SIなどの半導体素子や、半導体レーザー、集束型光ファイバーおよび光受信素子などの光通信にかかわる発明で、長年モノづくりと共にグリーンテクノロジーの発展に貢献されてきた西澤潤一先生に、これらの独創的な研究過程、更に最近の研究領域である、資源・エネルギー・食料／環境保全／経済発展問題(いわゆるトリレンマ構造問題)解決のための水力発電、直流送電までを伺った。



トリレンマ構造図

トリレンマ構造問題とは？

人口爆発を背景として、経済成長のためにはエネルギー資源を大量に消費せざるをえず、そして、エネルギー資源の大量消費によって地球環境の悪化が引き起こされるとい、複雑な因果の連鎖ができ上がっている。経済発展と資源・エネルギーそして環境との三者が相互に影響し合っている、これはジレンマならぬトリレンマと言う構造問題になる。

—目的(目標)にしたのは、高耐圧か？光か？

両方！ベル研でやっているのと同じものを作るのだが、その中で“電圧が高くて動くもの”“周波数が高くて動く”ようにしなければならないと考えていたので、高耐圧と高周波に特別に注意が向いて行った。

その頃の「八木アンテナ」の八木(秀次)教授の言葉に、“いつでも、どこでも、だれとでも”があった。通信の本質は、“あの人と話したいな”と思ったときに、何処に居ようと繋げることである。

八木先生が続けておっしゃったのは、“1人1人に周波数を割り当て”れば、それがやれるようになるということであった。そうすると今の周波数では足りなくなるので、もっと高い周波数を出せる様にしなければならないということである。それで高い周波数を作るということに、人一倍熱心であった。

1957年に中学2年の時に聞いた、ドイツのフラウンホッフの「星を太陽コロナを透かしてみると、星からの光が励起して強く輝く」という話を聞いて、高周波発振に応用できないかと考え、古道具屋から部品を買ってきて実験を繰り返した。

<筆者補足>

◆東北大学電気工学科は、1919年(大正8年)に開講。初代教授の一人に八木秀次がいた。当時の電気工学が強電関係の研究が学会の主流であったが、八木は弱電を研究テーマに選んだ。東北大学電気工学科では、1920年代から1940年代にかけて、弱電分野で多くの世界的な研究成果を生み出した。その独創的研究の伝統が、西澤先生に多大な影響を与え、鼓舞した。



インタビュー時の西澤先生

4. 光ファイバーの発明(光通信の一連の発明)

光ファイバーにしてもレーザーにしてもハッキリと目的をもって、こういう物が要するというニーズに基づいて発明した。

光ファイバーの方はイギリスの学会で講演しろとの要請があつて出かけた。その時、S TL(スタンフォード・テレコミュニケーション研究所)に寄ったら、そこで会ったのがこのあいだノーベル賞をもらったC. K. Kao(中国人)だった。Kaoは純度の高いガラスファイバーを作ろうとしていた。「そんなことをやってもダメで、むしろ中に分布をつくる必要があるだよ」と言ったら、それから研究方針をすっかり変えた。我々はその方向で仕事していたが、蓋をあけたらKaoがノーベル賞をもらった。教えた私ではないのは、ちょっと納得できない。(笑い)

ファイバーは今でこそ日本メーカーは多くやっているが、最初はなかなか取りかからなかった。特許がなかなか成立しなかったのは、日本メーカーの中に特許庁に行って尻をつついた者が居たため。ガラスだけでなくプラスチックだってファイバーはできるということで光学材料と書いたのだが、特許庁の審査官が、お前の特許にはガラスは含まれないと頑として聞かなかった。そうこうしているうちに期限切れとなった。日本人が日本人の足を引っ張っている。むしろ外国人のKaoの方が、認めてくれている。

「内部に屈折率分布をもった集束型グラスファイバー」ができる様になって、間もなくして常温近辺で発光する赤色レーザーデバイスが日本でも出来る様になった。これはフ라운ホッフアーの原理が元ベースである。

半導体レーザーについては、まずアイデアが先にあった。昔のアイデアの中には色々面白いものがある。光ファイバーは、2009年ノーベル賞の次点になった。そういうものがまだまだ出てくるので、捨てたものではないと思っている。

＜筆者補足＞

◆先生は「内部に屈折率分布をもった集束型グラスファイバー」を、1964年に特許出願されたが、光ファイバーの世界的特許であった。

5. 光発振源としての半導体レーザー

当時は赤外を考えていた。ニーズがあったせいだと思うが、アメリカに行った時に友人にこういうアイデアを出していると話したら、5年後の1962年に5ヶ所ほどから一斉にうまくいったと発表があった。悔しかったが、言わないでいるよりも言ったことで、それだけの効果があつて世の中のためになったと思っている。

考えてみると、ポンと飛んでいるところがある。赤外線にいく前のテラヘルツ波というところ。そこをやってみる必要があると思い、同じ原理でやってみたらうまくいった。結局、電波から光までどこでも出せることになり、世界中の80億人の一人一人に3KHzの周波数を割り当てることができ、八木先生の、“いつでも、どこでも、だれとでも”が実現できることになり、通信技術としては一つのベースに立つことが出来た。

そこまでいくのは大変だったがその過程で、光を出すときにも効率が高いことをやろうと思って、色々なことを考えてみた。たまたま弟が大学でやっていた仕事と重なるが、色々な材料を混ぜて溶かす時の温度を示すフェイズ・ダイアグラムというのがあって、ガリウムの様な3族の元素はすぐ溶け、5族の砒素の方はあまり溶けないが、そのかわりすぐ蒸発する。そのため2つを一緒に溶かしても良い材料にはならない。そういうことが解ったので私がやったことは、砒素をそばから蒸発させておいて周りにおいておくと、その分で補われるので砒素が少し増えて良い材料ができると思ってやってみて、発光ダイオードを作ってみた。そうしたら同じ電力でそれまでの100倍以上の発光をした。

そうしたらスタンレー電気がビジネス化を希望したので、やってもらうことになった。色んなところに使うことになったが、交通信号に使えるのではないかということになった。従来の電球はよく切れて交換要員が多くいったが、発光ダイオードはなかなか切れにくい。寿命30年は長すぎると警察がいうので、電流を多く流して寿命を短くした。(笑い)

スタンレー電気がアメリカの代理店に持って行って見せたら怒り出した。こんなに明るいダイオードを持ってきてライトLEDとは何事か、せめてスーパーブライトぐらい言えと。奥ゆかしいのはダメだ、もっと商売根性を出せと。行く時は床を見て歩いていったが、帰りは天井を見て帰ってきた。(笑い)

ところが日本の警察は頑として採用しない。自動車に採用することになりホンダがアメリカに工場を作って、我々の作ったダイオードが載っていたアメリカ・ホンダ車を日本に持ってきて売り出した。日本の警察は流石に文句を言えなかった。そうしたらしばらくして認めたが、アメリカはそういうものを簡単に認めてくれた。

30年も寿命があるので冗談まじりにダイオードが壊れる前に、電信柱が壊れると言ったのだが、本当に電信柱が先に壊れた。(笑い)

照明はそろそろLED時代になってきた。そういえば植物を暗いところで育てるとの記事があった。太陽の光の代わりにLEDの光をあてるというものだが、植物にどういう波長の光をあてると有効かということは調べられてはいない。有効な波長を発光できれば、土地がなくても植物を省電力で育てられる。記事にもあったが、レストランでミニ農場なんていうのも可能となる。正にグリーンテクノロジーの時代である。

<筆者補足>

◆1989年文化勲章受章 西澤先生3つの業績

①半導体電子素子:PINダイオード、NPINTランジスタ、静電誘導ランジスタ(SIT)、静電誘導サイリスタ(SI)の発明

②半導体完全結晶:半導体の完全結晶化と完全結晶成長のメカニズムの解明、蒸気圧制御気相エピタキシャル法の発明、ガリウム砒素の化学量論法の発明

③光通信および光電子工学:半導体レーザーや集束型光ファイバーおよび光受信素子などの、光通信にかかわる発明。

6. 環境問題

—南極の氷と炭酸ガス急増の発見

発明・発見から実用化までには随分と時間がかかる。今大騒ぎになっている話だが、炭酸ガスが増え出してそろそろ人間が生命の危険を感じなければならない時期になってきている。「自然界の中に炭酸ガスが一杯残っているぞ」と言い出したのは、東北大学の山本(義一)先生である。戦後まもなく南極観測に行った際のことである。南極を各国の領土にしてしまうとまた戦争を始めてしまうので、国際管理にしようということになった。そのためにまず基礎調査をしようということになり、東北大学からも観測隊員が出かけて行き観測に貢献した。オゾンホールが発見や隕石を拾い歩いたことなどである。

ところがお土産として持ち帰った南極の氷片に含まれていたガスの分析をしたら、新しい氷ほど炭酸ガスが多く含まれており、しかも急増していることが判った。これは大変であるということで山本先生はあちこちで話をして歩いたが、世間への反響を恐れて雑誌には書かれなかった。1986年に我々が雑誌(中央公論)に書いたら物議をかもしたが、日本人というのは不思議な民族で、謙譲の美德を発揮する。炭酸ガスが増えてい

って大変だと言ったのはアメリカ人の「レイチェル・カートンという女性だ」ということになっている。外国人が言うのとやってもいないのにやったと言うが、日本人が言うのとやっているのにやっていないという。非常におかしなことだ。

7. 水力発電と直流送電

私は炭酸ガスが非常に増えて危険になるのは、2200年だと言っていたのだが、OPEC総裁からOPEC総会で話をしろと言う。そこでキプロス島で開かれたOPEC 総会に出かけた。大学などがそうなのだが必ず異論が出るので、石油に替わるエネルギーには何かあるのか考えてみたら、水力発電をやれば良いと思った。色々と調べてみると、水力発電だけで充分で、原子力発電や火力発電も廃止してもやっていけ炭酸ガスが全く出なくなる。そういう主旨で説明をした。

水権は農民が持っているが、高いところで借りて低いところで返せばよい。只見川水系は小さなダムだけで充分やっており、黒部ダムのような大きなダムは必要ない。

原子力発電は核燃料を使うが核燃料をなくしたら困る。気候が寒くなったり暑くなったりした時のために、原子力発電は温存しておけばよい。当分は燃料を使わずにやる水力発電が一番良いのではないかというのが、私の主張である。

火力発電は燃料的にはそれなりにあるが炭酸ガスが出る。風力発電は風がなければできず、太陽光発電は日が陰った時や夜は使えず、電池も必要であり不便である。水力を中心に伸ばしていくのが本当だと思う。水力は日本ではそうでもないが全世界的にはまだまだ使える。私は素人計算してみたが、国際的にも表が出ており水力だけでも充分足りるということであり、炭酸ガスも全く出ない。

日本は太平洋戦争の賠償として、カンボジアに水力発電ダムをつくった。カンボジアは発電した電気をラオスに売り、現金を得て石油を買っている。メコン川の3分の2の水は使われず海に捨てられている。日本が援助して発電所をつくり、その電気を高圧直流送電で輸入すればよいと思うのだが、どうだろう。

<筆者補足>

◆直流送電: 交流送電に比べて損失は少ないが、使いやすい低い電圧にするには受電後に変圧する必要があるため、いったん交流に変換しなければならない。今までは効率の良い直流⇒交流変換用大電力デバイスがなかったことから、交流送電ということになっていた。

8. 独創的な研究

先生は独創的なことを数多くやられてきたが、そういうものを伸ばしていくには？

日本人がいけないのは他人の仕事を潰そうとすることだ。良いものを見ると助けて一緒にやろうとは思わずに叩きにくる。アメリカでは良いものをどんどん伸ばそうとする。アメリカの電気学会(IEEE)がやっているのは、最初にエジソン・メダルというものをつくって良い仕事をした人にくれる。その次にアレキサンダー・グラハム・ベル・メダルをつくって同じようなことをやる。そういう名前の入ったメダルが12ある。

一昨年アメリカから急に連絡があって、「お前のところにエジソン・メダルをやる」という

話で喜んで出かけた。帰国したらまた電話がかかってきて、「お前の名前のメダルをつくろうという話があるが良いか」と言う。しかも10年間だけ出すというのと、常設して永年出すというのがあるが、常設の方だと言う。びっくりしたのは、その西澤潤一メダルの領域は大電力制御と書いてある。変だね、光通信のはずだがと。(笑い)

その頃、私も自分のやった大電力制御の仕事の価値がよく分からなかったが、その後メキメキと評価が上がってきて大変大きな評価をもらっている。発表の寸前になったら、一番が大電力制御で二番が光通信ということで両方入れてくれた。バラバラにして二つくれたら良かったのに。(笑い)

9. エレクトロニクスの将来

まだまだエレクトロニクスは進歩すると思うが、今後の技術開発は？

微細化については限度(極限)を目指してやってきた。薄膜では原子を1並びか2並びさせるところまで出来るようになってきた。その仕事は既にやってあり極限は原子1つ。そこを目指して、層の方は出来るようになったので横並びの方もやれるようにするとか、今後とも色々な技術開発が必要である。それでも半導体の素子であることには変わりなく半導体が一番色々なことができる。必要ならば金属でもやってお目にかけろ。原子レベルでは従来のものとは全く違う特性や性質がでてくる。

カーボン・ナノ・チューブなどは日本で34の大学でやっているが、人がやっているとか最先端をやっていると安心する。人のやったことをやってもしょうがない、我々なら人がやっていると判ったらすぐ止める。

東北大学の西澤潤一研究センターでは私の後任の人が来て、我々が必要だから作った機械を捨てて、市販品を並べてあるが残念なことだ。

10. 先生の趣味は？

よく小説を読んでいる。読み方がふるって面白いのを見つけると、その人の全著作を読む。それなのでエロ文学などもよく読んでいる。(笑い)

また生まれつき絵が好きだ。我々の時代は本物を観る機会がなかなかなかったが、この頃は日本国民も幸せで本物がどこでも観られる。だから外国に行った時には土日は研究所が閉鎖になるので、その土地の美術館に行って鑑賞している。

―本日は色々有り難う御座いました。独創的な先見性のある仕事をするには？

必要だから開発する。やりもしないで出来ないと言わないで欲しい。今は決して皆さんが失望する状態ではない。やる気がないから失望する。やる気があるなら日本でもやることは沢山ある。“やってやろうという気持ち”になる教育が必要なのだ。

いよいよ打って出るロームの SiC ビジネス

ミリアンペアからキロアンペアへ

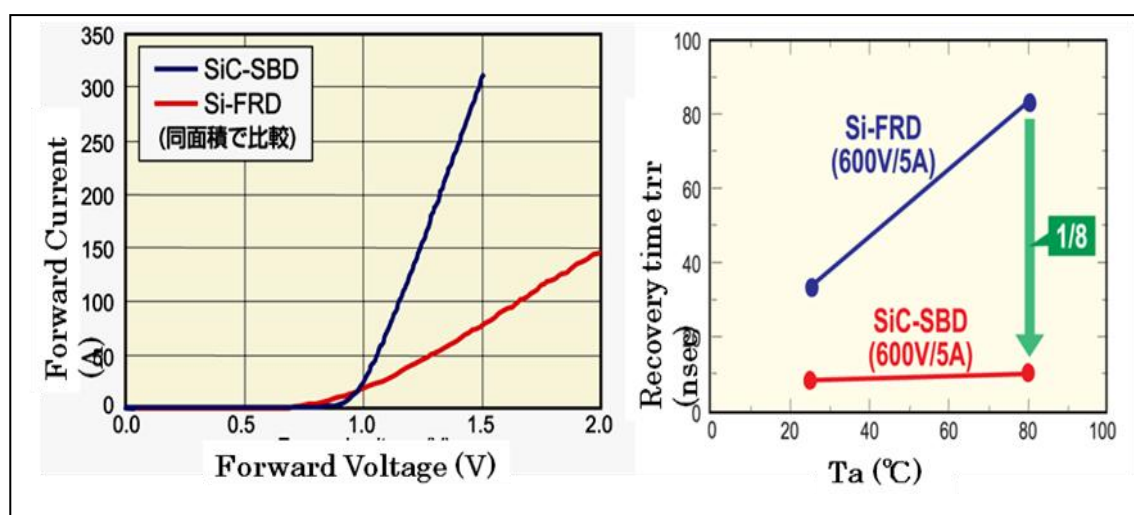
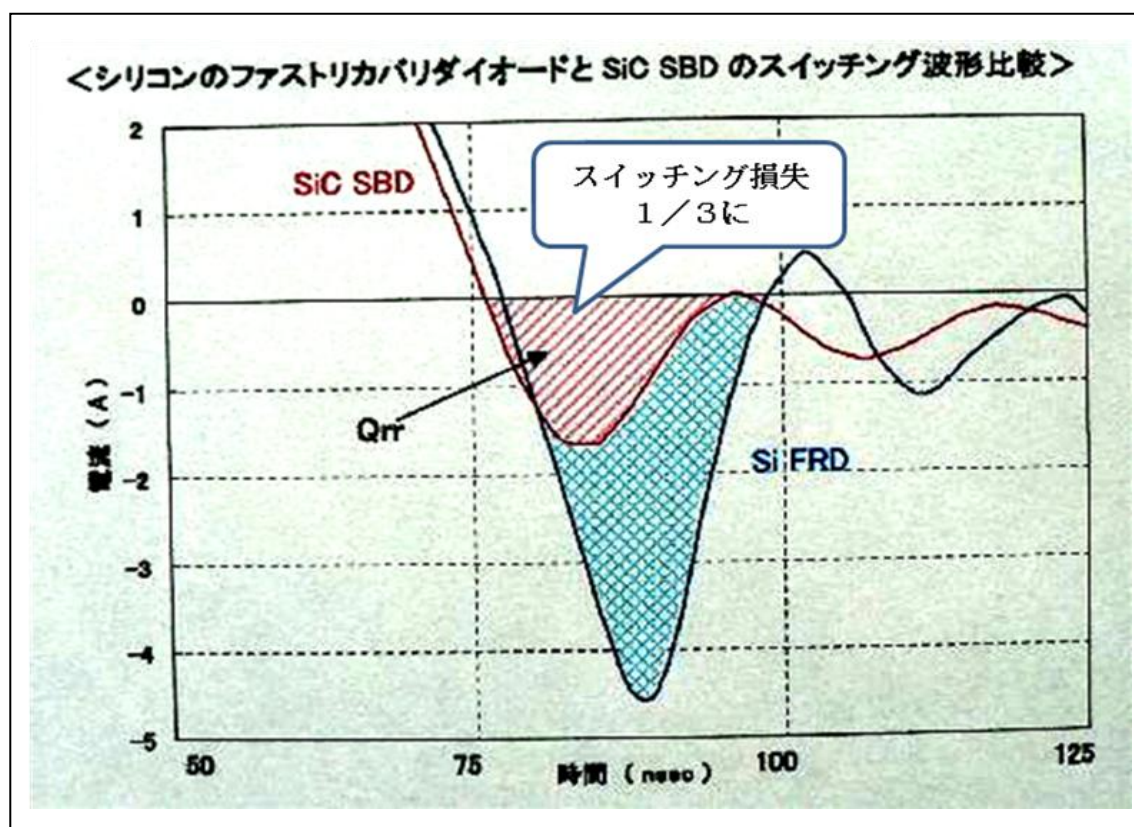
電気自動車、太陽・風力発電、エアコンなどの電源回路の効率化で省エネの切り札として待望されていた SiC を用いたパワーデバイスのビジネスをローム株式会社が開始したと聞いて早速取材にお伺いした。ローム社は2004年に SiC による MOS FET 試作成功を発表されているが、以来数年掛けて量産化の検討を重ね、いよいよ矢は弓を離れた訳である。まず、4月から SBD(ショットキーバリアダイオード)の発売を始め、秋には MOS FET、更に IPM(インテリジェント・パワー・モジュール)を計画している。対応して頂いた方は、アドバイザリーボードメンバー研究開発本部 副本部長 神澤公氏と、ディスクリート・モジュール生産本部 SiC チームリーダー 伊野和英氏で、ローム社の SiC を中心としたパワーデバイスについて伺った。



写真1 伊野氏（左）と神澤氏

発売開始;SBD(ショットキーバリアダイオード)

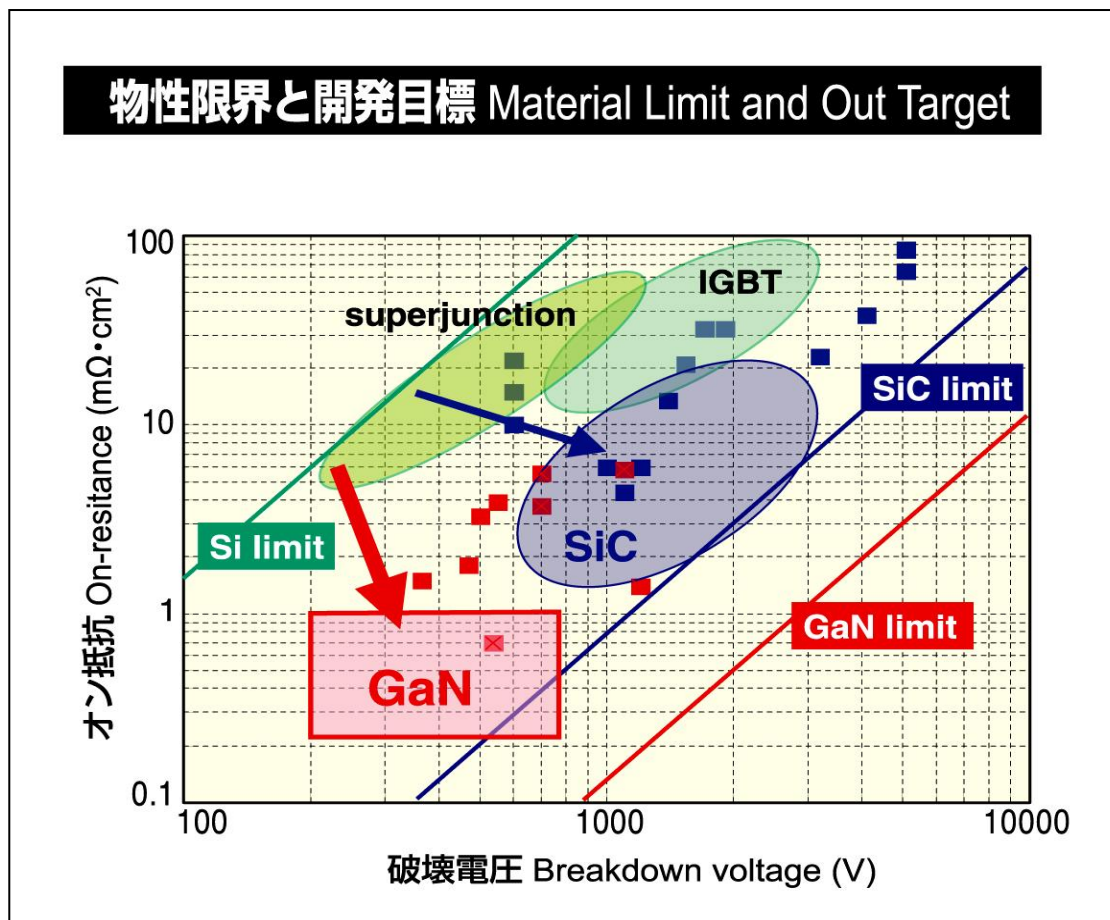
SBD と言うデバイスは、金属と半導体を接触させると、ショットキー障壁と呼ばれる接合が形成され、PN 接合と同じように整流性を持つが、少数キャリアの蓄積が無く、電圧が順方向から逆方向へ変わった時、蓄積されていた電荷による損失が少なく省エネとなり、発熱が少ないので放熱板も小さくて済み機器の小型にも役立つ。図1は、従来用いられてきた Si FRD(ファースト・リカバリー・ダイオード)と、SiC SBD のスイッチング波形の比較であるが、スイッチング損失が約1/3になっていることが分かる。図2は、順方向特性で、100A の値で Si FRD に比べると、1.7V が1.2V 以下になっている。また、リカバリータイムの温度特性も極めて良好である。主な仕様は、直流逆電圧 $V_R=600V$ 、順方向電流 $I_o=10A$ 、接合最高温度 $T_j=150^{\circ}C$ 、順方向電圧 $V_F=1.5V(at 10A)$ 、逆回復時間 $t_{rr}=15nsec$ となっている。このような素晴らしい特性が得られるのは、SiC と金属の界面処理に永年の工夫がある訳であるが、この辺の技術は門外不出らしく教えて頂けなかった。



量産体制が整った SiC MOS FET

電源回路の省エネで最も重要なパワートランジスタとして、現在は Si で通常の平面型 MOS FET が多く用いられているが、性能面では縦型接合の Super Junction 型や、バイポーラ動作の IGBT が伸びてきた。しかし、ワイドギャップ半導体の SiC や GaN が実用になれば、理論的には ON 抵抗を $1/10$ 以下に下げることが出来、圧倒的な性能向上が出来る。この関係を図3に示す。

ローム社では、京都大学、日産自動車、ホンダなどと共同研究をしてきたが、ようやく生産体制が整い、プレーナー型の SiC MOS FET を今秋には出荷開始する予定だそうである。ローム社の SiC MOS FET を積んだ自動車が、間もなく走り出すことになる。



量産技術は？

SiC を用いたパワーデバイスが、特性的に優れていることは以前から知られていたが、実用化が遅れているのは、製造技術が十分確立されていないためである。主な問題点を上げると、①単結晶作成では、Siのように融液から引き上げることが出来ず、昇華法を用いているが、現在は4インチ径がやっと実用化され、次世代用には6インチ化が検討されている。Siのパワーデバイスが8インチに移りつつあるのに比べると、かなり開きがある。ローム社はドイツのサイクリスタル社を買収して単結晶製作に注力しているが、現在はどの結晶メーカーからでも購入している。②次にエピタキシ層の結晶欠陥が多い。マイクロパイプと呼ばれるパイプ状の欠陥が無数にあったが、現在はほぼ解決して問題になっていない。残る欠陥では転位が高密度で存在し、これを少なくする努力が行われている。ローム社では、京都大学、東京エレクトロンと装置を含めた共同開発を行い、欠陥密度を大幅に下げること成功した。図4にSBDを製作した時の歩留まりを示す。SBDの耐圧不良が数分の1に減少している。③イオン注入などもSiとは異なり、打ち込んだ不純物の活性化には、1500℃以上の高温が必要とされる。イオン注

入を高温で行う方法もあるが、ローム社では打ち込み後のアニールを高温で行っている。④SiC と SiO₂ の界面の問題が信頼性に関係して大きな問題である。SiC の場合も Si と同様に熱酸化により SiO₂ が形成されるが、その際、SiC の C が CO となって逃げてくれれば良いが、若干は界面付近に残ってトラップとなり、SiO₂ 中へのキャリアの注入も Si より多いと言われており信頼性劣化の原因となる。これらの4つの大問題を如何に解決したかは公表されていないが、満足に解決され量産に入ることになった。

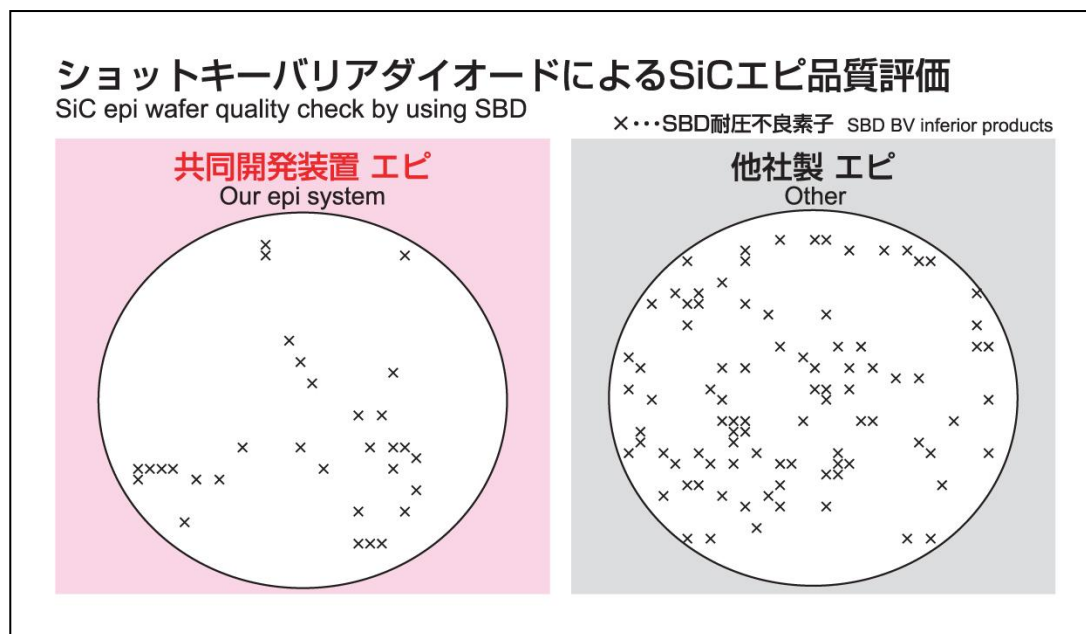


図4 エピタキシ・ウエハーの欠陥評価

GaN パワーデバイス

今回は SiC を中心とした取材であるが、GaN パワーデバイスについても開発は進めている。GaN は、第3図のように SiC よりも更に ON 抵抗を下げられる可能性を秘めている。シリコンの6～8インチウエハー上にエピタキシで単結晶を製作できて大幅なコストダウンの可能性がある、良い結晶を得るにはバッファ層の検討が必要である。一般には高耐压品を SiC、数百 V 以下の低耐压品を GaN という住み分けが考えられている。

(以上、資料はローム社の提供による)

Appendix

「易しく解説; ワイドギャップ半導体とパワーデバイス」

ほとんどの電子機器には電源が必要で、交流100V で配電された電力を直流3V に変換したり、太陽電池で発電された直流電力を交流に変換することが必要となります。エアコンのインバーター化や電気自動車のモーター駆動などの効率向上は省エネにとって極めて重要である。この時に活躍するのがパワーデバイスで、この効率がホンの少し改善されるだけで原子力発電所がいくつか不要になるほど省エネ効果が大きい。そのパワーデバイスとして期待されているのが、ワイドギャップ半導体である。

ワイドギャップとは何か？

世界中で最も硬い物質はご存知のダイヤモンド(炭素の単結晶)。同じ周期律表Ⅳ族のシリコン単結晶も硬い。この2つから成り立っているSiC単結晶はその中間の性質でやはり硬くて加工に苦勞する。硬いと言うことは、構成する原子同士が強固に結びついており、原子を構成する最外殻電子同士ががっちリスクラムを組んでいる訳で、ダイヤモンドやSiC結晶に電圧を掛けても、結晶中を自由に流れる電荷となる電子が無いので絶縁物です。ところが温度が上がると束縛されていた電子にエネルギーが与えられ、原子の束縛から開放されて自由に動けるようになり、電流が流れるようになる。このような電子の状態は量子論で説明され、結晶のように非常に多数の原子からなる場合は統計的に処理されて、電子のとり得るエネルギー状態が図5のように表わされ、エネルギーバンド図と呼ばれています。この図で、下の充満帯は電子が原子に束縛されている状態で、上の伝導帯はエネルギーを与えられて結晶の束縛から解放された電子の状態を表している。この充満帯と伝導帯の間をエネルギーギャップと呼んでいる。ギャップの値は、ダイヤモンドが 5.47eV, SiC(4H 結晶)が 3.0eV, Siが 1.12eV, Geが 0.78eV と計算されている。Geの値は小さいので、70℃程度の低温で伝導帯の電子が増えて半導体的な性質がなくなるが、SiCの場合は、250℃以上の高温になっても半導体として使えることになりパワーデバイスとして有利な点である。

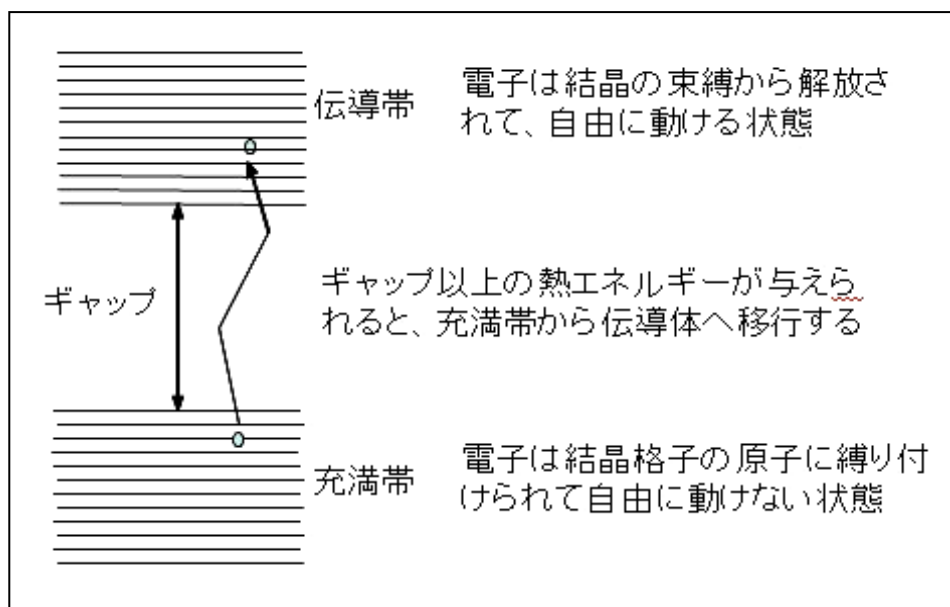


図5 電子のエネルギーバンド図

パワーデバイスへの利用

半導体のPN接合で、P型にプラス、N型にマイナスの電源につなぐと電流が流れるが、逆につなぐとPN接合付近に広い空乏層が出来て流れない。ところが電圧をどんどん上げると、ついには大量の電流が流れるブレイクダウンが起こる。この原因は、空乏層中に仮に1個の電子が発生すると、この電子が電界で加速されて結晶に束縛されてい

る電子に衝突してこれを弾き出し、弾き出された電子も加速されて次の電子を弾き出すと言う次々に電子を弾き出す雪崩現象が起こるためである。ところがワイドギャップ半導体では、少々のエネルギーを持った電子がぶつかっても、結晶原子に束縛されている電子は固くスクラムを組んでいるので弾き出されない。即ち、ブレイクダウン電圧が非常に高いわけである。

一般にパワーデバイスでは、内部で電力を消費しないため、抵抗値を極力小さくする努力をしているが、半導体の抵抗値を下げるため不純物濃度を上げるとブレイクダウン電圧が下がってしまう。ところがワイドギャップ半導体ではブレイクダウンが起こり難いので、抵抗値を下げる事が出来る。抵抗値が下がると余計な電力消費が減少し、電源の効率が大幅に改善される。このような優れた性質を持っているワイドギャップ半導体だが、製造が簡単ではなく実用化が遅れている。欠陥の少ない単結晶の製作が困難、不純物ドーピングなども1500℃以上の高温が必要、硬くて加工が困難など多くの問題があり、どのメーカーが一番に最初に解決するかが業界の関心事となっている。今回、ローム社が世界に先駆けて生産に成功したのは、まさに快挙と言える。

最も注目される急成長 LED 産業

設備投資すれば、直ぐ生産できるのか？

設備が入手できない

現在、半導体設備の中で最も投資が急増しているのが LED (Light Emitting Diode) 用である。MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition) 装置に至っては、今発注しても納入は2年先などの噂もある。LED は数年前から一般照明用として蛍光灯の効率に近くなり、寿命も4万時間と言われて普及が期待されているが、PC や液晶テレビのバックライトに使われて、急速に需要が拡大している。液晶テレビへの使用法は、画面全面に敷き詰める直下方式と、画面端に並べて導光板で全面を照射するエッジライト方式に分かれている。平均すると、1台に200個もの LED が使われ、1億台のテレビに用いられると、200億個／年の LED が必要になると言われる。これまでに市場が無かったゼロからの急拡大だけに急速な投資が必要になった。しかし、投資をすれば直ぐに LED が生産できるのであろうか？ そんな問題点を意識しながら製造プロセスを調査した。

LED の発光原理と得られる波長

半導体の PN 接合に順バイアスして、接合部で電子と正孔が再結合すると熱と光が発生する。発光波長を λ (単位 ; nm)、バンドギャップを E_g (単位 ; eV) とすると、 $\lambda = 124$

0/E_g の関係にある。従って、バンドギャップを変えると、色々な波長の光が取り出せる。現在、話題になっている白色LEDの場合は、n-GaAlN/InGaN/p-GaAlN構造の図1のようなダブルヘテロ接合が用いられる。GaAlNのE_gはGaとAlの混晶比にもよるが、大体2eV程度であり、InGaNのE_gはInの比率で異なるがそれより小さい。そこで、接合に注入された電子と正孔はバンドギャップの小さいInGaN層に集まり再結合が起こり易く、発光効率が向上する。光の波長を変えるには、Inの組成を変えればよいが、逆に言えば、組成がバラツクと発光波長がバラツクことになる。なお、300nm程度の短波長にはInAlGaNが用いられる。

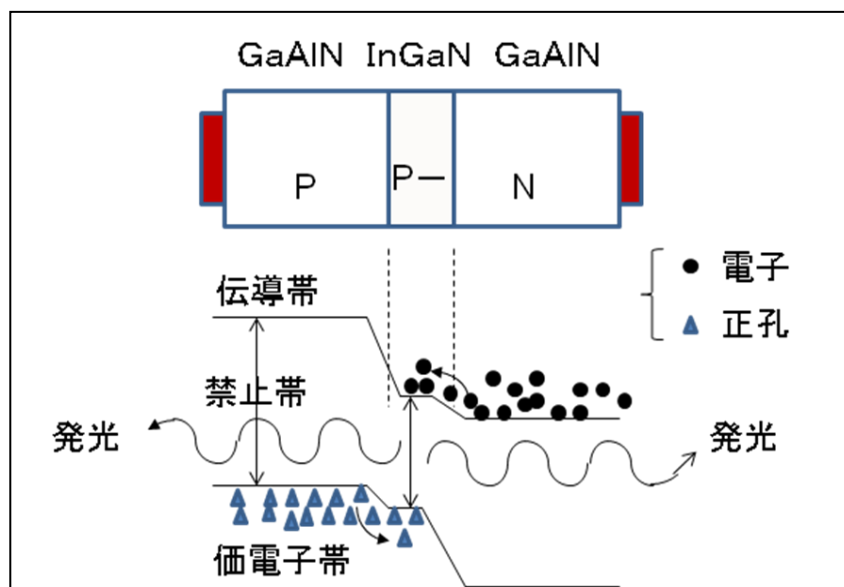


図1 ヘテロ接合のバンド図

白色光を得る仕組み

白色光を得る方法は、主として図2の3通りの方法がある。1) RGBの3色のLEDを並べると白色光が得られるが、LEDは一般に波長のバンド幅が狭く、ある特定部分の成分が欠落してしまう。我々が物体をみるのは反射光を見るので、照射した光に或るスペクトル成分が欠落していると、正しい物体の色が見られない。これを演色性と言ってRa (Average Color Rendering Index, CRIと表記されることもある)で表されるが、RGBの3チップ方式ではRaは50%と良くないと言われている。2) 青色LEDと黄色蛍光体の組み合わせでは、赤系統の成分が欠落し、Ra=60~70%と言われている。この場合、人の顔色などやや赤みが不足し、肉や魚が新鮮に見えないので、これらの商店の照明用には避けた方が良い。ただ、最近は蛍光体の進歩によりRa=80%程度のデータも出ている。3) 近紫外LEDでは、光子のエネルギーが大きいので、蛍光体からRGBの光を取り出すことが出来、可視光の全ての波長帯をカバーするので(Ra=100%)、演色性については理想に近い光源と言える。現在、一般照明用に市販されているのは、2)と3)であるが、輝度とコストは2)が良く、演色性を選ぶなら3)と言うことになる。

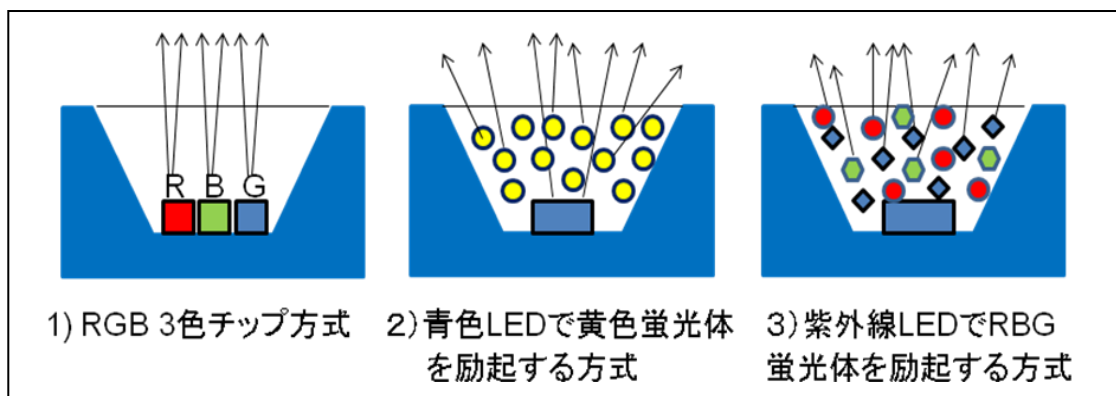


図2 白色 LED を得る3方式

LED の製造プロセス

製造プロセスの概略を図3に示す。まず、サファイア基板の上にフォトリソをマスクにして PSS (Patterned Sapphire Substrate) と呼ばれる $3\mu\text{m}$ 程度の大きさのドットパターンを形成する。化合物半導体を MOCVD で推積し、最上部は透明導電膜を付け、図3(4)のように一部分をメサ* 状にエッチングして電極付けを行い、表面に保護膜を被せた後、レーザーでダイシングし、パッケージに収める。

(* 注; メサとは、アメリカの砂漠などに見られる台地状の場所で、半導体の初期の頃、メサ状のトランジスタが生産されたので、古い人には馴染みの言葉である)

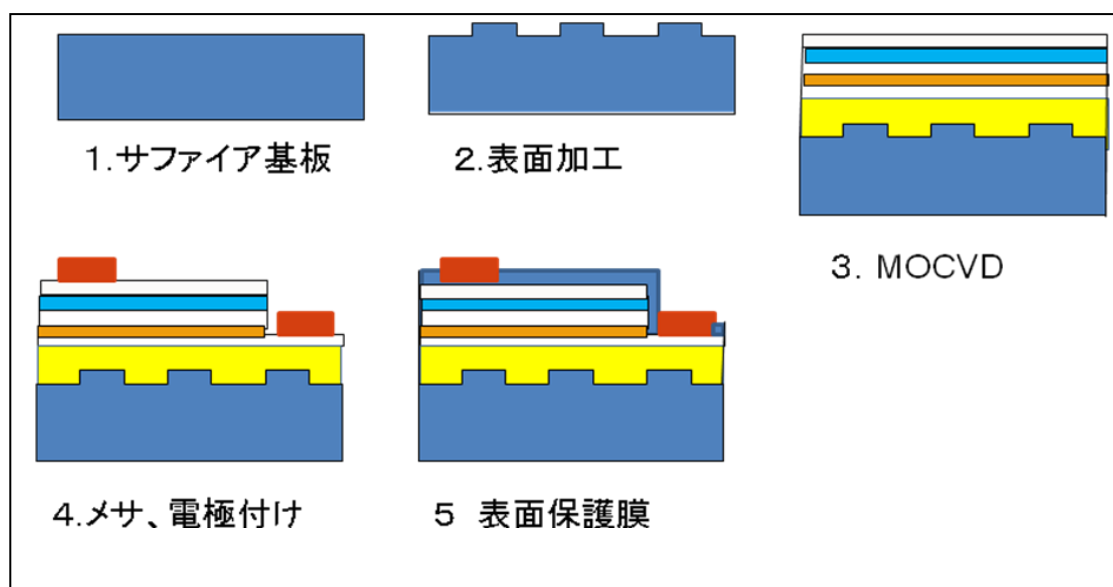


図3 LED 製造プロセス・フロー

サファイア基板の製作

サファイアは Al_2O_3 の単結晶で、シリコンのように CZ 法 (Czochralski 法) で引き上げることも出来るが、後の加工が楽なので EFG 法 (Edge-defined Film-fed Growth 法) がよく用いられる。これはリボン結晶とも呼ばれ、図4左のように Al_2O_3 溶液はスリットを通して上昇し、リボン状の単結晶になる。結晶欠陥の密度は、CZ 法が優れているが、LED の

性能に大きくは影響しない。また、サファイア基板は、結晶軸を少し傾けた方が、平坦度の良い GaN 層が得られる。このオフアングル(Off Angle)は、0.15~0.2度程度がよく、**図4右**のような表面の構造になっており、これを調べるには、AFM(Atomic Force Microscope)が用いられる。

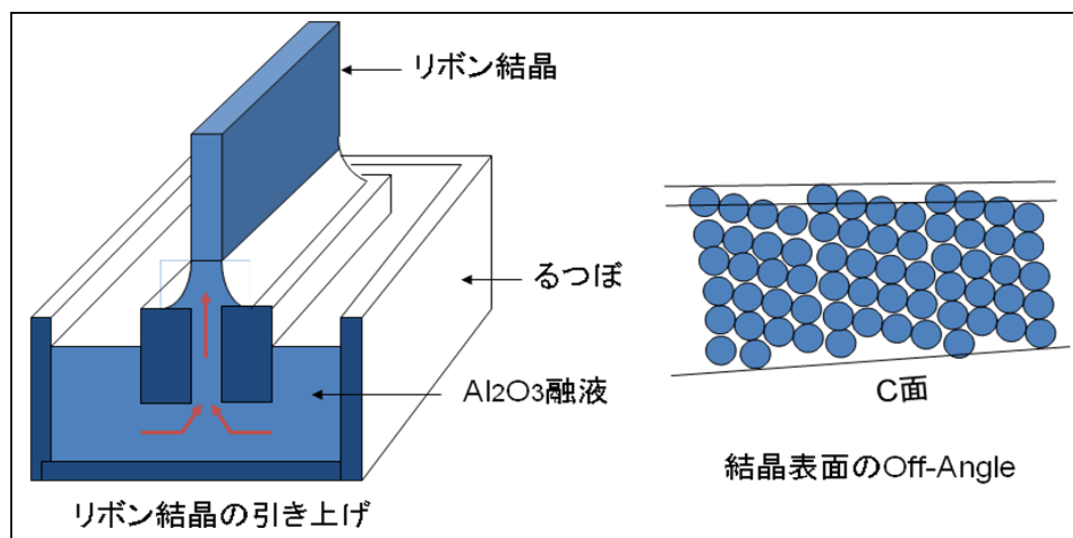


図4 リボン状結晶の引き上げと、表面の Off-Angle

LED の発光性能を決める MOCVD

サファイアの上に、何層にもなる化合物半導体を MOCVD 装置でエピタキシャル成長させる。その構造は**図5左**のように非常に複雑である。サファイアと GaN は結晶の格子定数が16%も異なるので、結晶欠陥の少ない単結晶を得るには、バッファ層を挟む必要がある。LED 発光層の組成は極めて重要であり、膜厚や In などの組成が設計通りでなければならない。CVD 中の温度は700~1000℃の高温なのでウエハーの反りによりホットプレートと接触しない部分が出来て均一な温度分布を得るのが難しく、サファイア基板を反りの発生分だけに事前に補正しておかなければならない。発光層の InGaN の生成では、CVD が高温になるほど In の組成比が少なくなって、発光波長が長波長になる。実際に製造された LED の組成はバラツキしており、光の波長、光出力、掛ける電圧などによってビン分類される。波長のバラツキは5nm 以内にしたいと言われているが、実際はビン分類してそれに対応した蛍光体を組み合わせて、不良チップを少なくしている。現在、ウエハーは2インチ径が主流で、それでも1枚から数千個のチップが取れるが、先々は6インチ化が検討されている。ただ、6インチになると反りも大きくなり簡単ではない。MOCVD は原子1層ずつ積層して行くので1枚の処理に数時間以上掛かっている。時間短縮はかなり困難なので、大バッチ処理の装置が開発され、生産では数十枚の2インチウエハーを一括処理しているが、ガスの流れ方で特性のバラツキが増える恐れがあり簡単ではない。**図5右**は、「日亜化学は200億円の特許報償を支払え」と言う東京地裁の判決が出て、一躍有名になった中村修二氏の Two Flow CVD である。水平方向に TMG (Tri-Methyl Gallium) や NH₃ のような反応性ガスを流し、

上から N_2 や H_2 のような反応に寄与しない押圧ガスを流して、デポジットの均一化を図った案である。この工夫により青色のレーザーや LED が出来るようになったが、現在生産に用いられている装置は必ずしも Two Flow 式とは限らないようである。

電極は、**図5左**のようにフォトリソでマスクし n-GaN 層までエッチングして電極付けを行い、最上部は透明導電膜として ZnO が用いられる例が増えている。ダイシングは、Si で用いられるブレードでは GaN が硬くて切れないので、レーザーカットが行われる。レーザーで GaN を幅5～10 μ m、深さ20 μ m程度を熱で溶解・蒸発させた後、割る訳だが、デブリと呼ばれる蒸発物残渣が周りに付着するので余り好ましくなく、これに代わってステルスダイシングと呼ばれるレーザーカット法が開発された。レーザーをウェハー内部でフォーカスして結晶歪を起こして割る方法で、シリコンの薄ウェハーなどに応用されている実績がある。

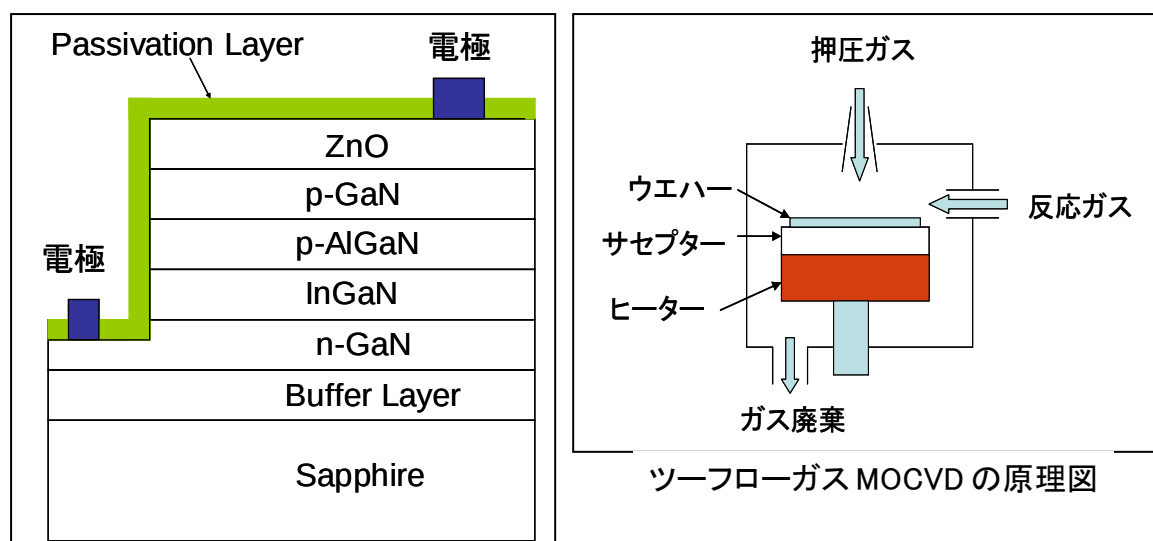


図5 青色 LED の構造と Two Flow MOCVD

発光効率の向上

発光効率の向上には、内部発光効率(加えた電力の内、接合部から照射される光のエネルギーの割合)の向上には、電子と正孔が出来るだけ全て光に変換することが望ましい。従って、ダブルヘテロ構造をとるとともに、結晶欠陥などで電子・正孔の再結合が起こらないようにしなければならない。結晶欠陥が極端に多いと、全く光が出て来ないこともある。

次に、接合から出た光がパッケージから外部に取りだされる割合を外部発光効率と呼んでいる。接合で発光した光は四方八方へ放射されるが、これを有効に外部へ取り出すには、テクスチャー構造が用いられる。レーザーは光が一方向から揃って射出されるのに対して、LED は PN 接合からあらゆる方向に射出される。材料の GaN の屈折率は 2.4 と高いので、ある角度以上は空气中へ射出されず、全反射してしまい、**図6左**のように色々な反射を繰り返して減衰したり横方向の射出して無駄になり発光効率を落とすことになる。対策を取らないと、光の取り出し効率が10%以下になったりする。このロスを避けるため、表面での全反射を避けるテクスチャー構造が用いられている。この

構造は、接合の面積やチップの厚さなどで最適構造が変わり、各社で柱状、円錐上、ピラミッド状など色々な構造が用いられている。テクスチャーの製法は、フォトリソでマスクしてエッチングする。フォトリソの代わりにナノインプリントを用いる例が増えている。エッチングは、フッ素系や塩素系のプラズマを用いる。設計は出来てもエッチングで設計通りの形状にすることは難しい。当然、出来た製品の検査が重要になるが、そこで活躍するのは共焦点顕微鏡である。図6右は共焦点顕微鏡の原理図である。試料からの反射光は、図のようにピンホールを通して二つの受光素子に入る。ピンホールを通れる光は、試料のある高さからの反射光に限られ、その上下からの反射光はピンホールを通れず受光されない。そこで、試料を上下にずらして行くと、全ての面の像がくっきりと受光できる。この時、試料に明暗があると全てをくっきり見ることができない。その対策として、感度の良い受光素子と感度を落とした受光素子の二つにおいて、資料の明暗に対処したのは Dual Confocal である。これにより、驚くほどの鮮明な像が得られ検査に活躍している。また、サファイア基板での光の減衰もかなり大きいので、サファイアを剥離するのが一般化している。これにより、効率が大幅に向上したと言う報告もある。透明導電膜の光透過率も99%ぐらいが望ましいが、まだまだ改善の余地がある。

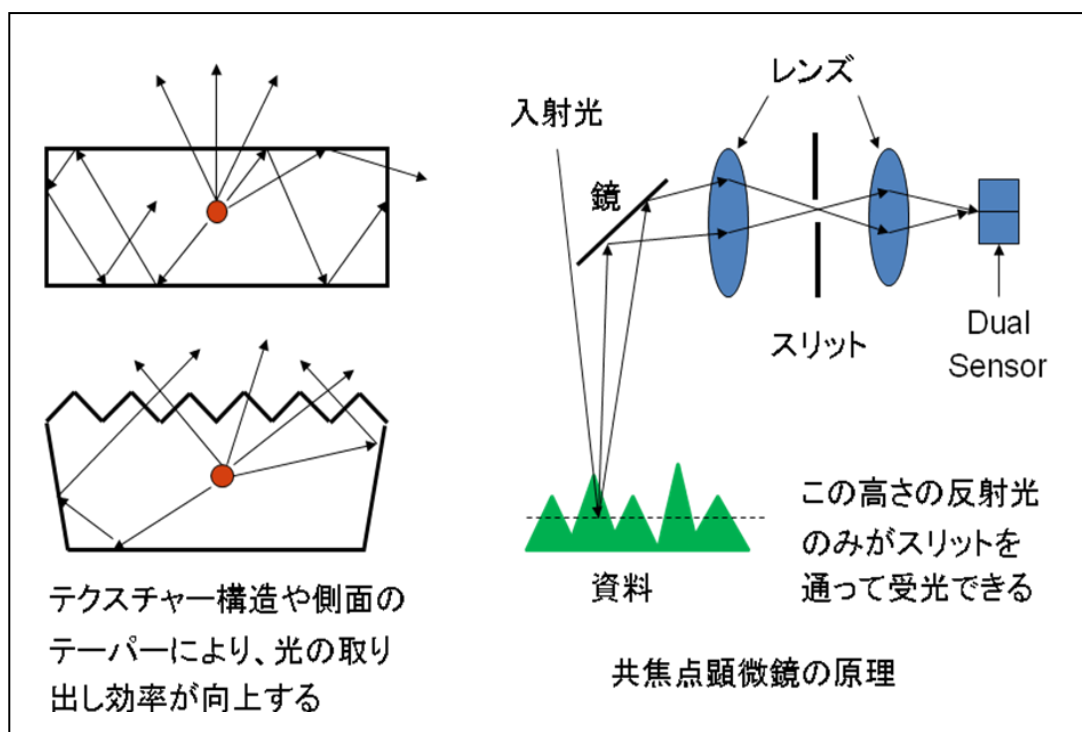


図6 テクスチャー構造と観察に適した共焦点顕微鏡

蛍光体材料

白色光を得るには、紫外線または青色光の光子エネルギーを吸収して発光する蛍光物質が用いられる。一般には、酸化物系、窒化物系、酸窒化物系、硫化物系など多くの種類がある。酸化物系では、YAG 蛍光体が用いられ、460nm 付近の LED 光をよく吸収し、555nm 近辺の黄色を発光するが赤成分が不足する。発光は、Ce(セシウム)

イオンによるが、最近 Eu(ユーロビウム)が注目されており、Ce より赤色成分が多くなる。窒化物系は、耐久性に優れると言われている。硫化物系は逆に吸湿性に問題があつて使い難い。青色 LED と黄色 YAG 蛍光体を組み合わせると、演色性に若干問題があるが、発光効率は100lm/Wを遥かに越えて蛍光灯より優れている。また、青色 LED に緑色蛍光体と赤色蛍光体を組み合わせて RGB を実現する案もあるが、赤の蛍光体の発光効率が良くないので、輝度が落ちる。光のエネルギーは波長に逆比例するので、460nm の光を555nm に変換すると、約20%の損が発生する。これをストークスロスと呼んで蛍光体を使う以上は避けられないロスである。蛍光体は、ブラウン管カラーテレビなどに大量に使われてきたが、LED では励起エネルギーが全く異なるので、新しい研究が必要で材料メーカーの健闘が期待される。

パッケージが重要

LED のパッケージは、図7の砲弾型が用いられたが、最近はアルミ基板に直接チップをマウントするなど表面実装型が増えている。パッケージに要求される技術は色々あるが、最も重要なのは、放熱、耐湿性、耐光性であろう。LED は一般に高温になると発光効率が減少し、耐久性も悪化するので、放熱は特に重要である。蛍光体も高温で発光が減少する場合があります、輝度だけでなく色調も変わる。蛍光灯の場合は、管内での発熱は余り多くなく可視光以外の無駄な波長の光を放射して効率を落としているが、LED の場合は可視光の放射以外のエネルギーは全て発熱になるのでチップ温度が上がり易く、通常100℃程度で使われているようで高温になるほど効率が悪くなるので放熱が重要である。蛍光体の種類によっては吸湿性があり、パッケージの耐湿性も重要となる。また、樹脂系の材料では、光のエネルギーで長時間の間に色が付いたりして光の透過率が落ちる場合があります、樹脂の耐光性も重要であり、シリコンが用いられる。

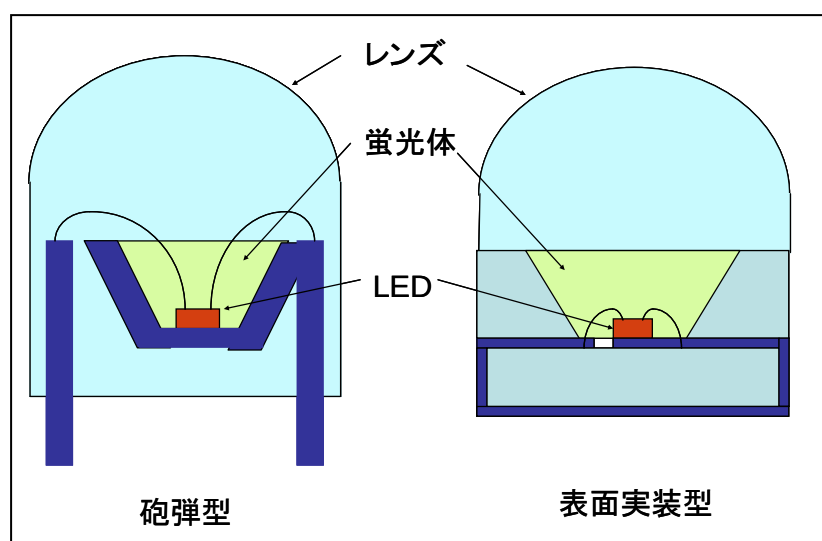


図7 LEDの代表的なパッケージ

LEDの将来は「明るい」

LED は、まず交通標識などに用いられたが、現在のブームは、テレビのバックライトと

一般照明用が中心となっており、今後10年ぐらいは高度成長が続くと思われる。医療分野では、カプセル内視鏡の白色光源として既に実用化され、紫外線LEDは皮膚病治療に使われている。LEDはスイッチング速度が速いので、赤外線や可視光通信に応用できる。紫外線は光子のエネルギーが大きいので樹脂硬化用に向いている。変わったところでは、紙幣識別用に使われている。最近の話題は、太陽光の代わりにLEDを照射して野菜の室内栽培を行うレストランが始まっている。図8は、既に販売中の野菜栽培装置で、波長によって葉が成長したり花が成長したり制御できるそうである。筆者が将来性があると考えているのは、電気自動車のヘッドライト用である。電気自動車が極力省電力に努めており、ヘッドライトのようなエネルギーを消費する用途は、すべてLEDになると思われる。このように前途明るいLED産業は、元を辿れば名城大の赤崎先生の努力で研究が実り、日亜化学の努力で実用化された技術であるから、日本が今後も世界をリードするような研究に生産に努力して欲しい。

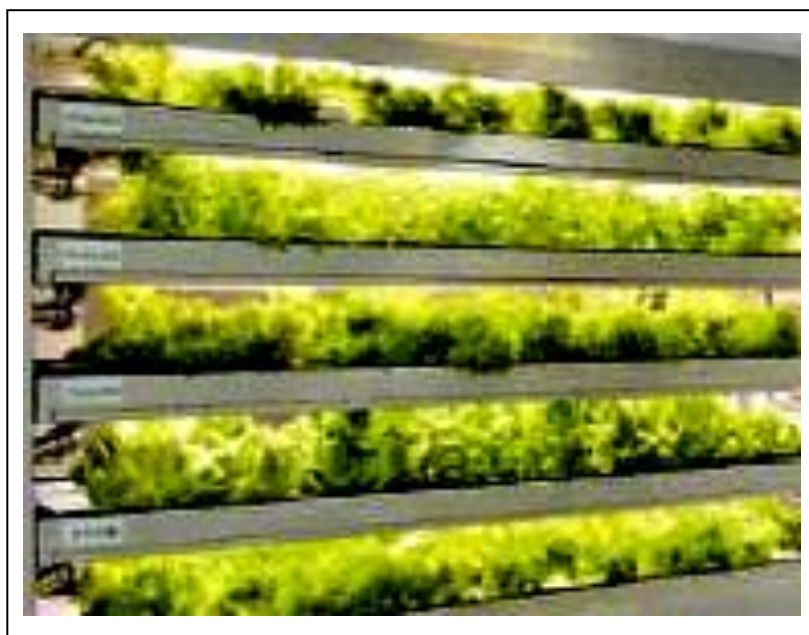


図8 LEDによる室内野菜工場(大成建設社の資料による)

日亜化学などの努力により、LED産業が始まったわけですが、政府から資金を貰った中国企業が莫大な設備投資を行って生産力を高め、世界一のシェアを獲得しました。液晶、太陽光発電などと同じケースです。今またリチウムイオン電池業界が同じ運命になりそうです。

頑張れ、日本の工場 日本デバイス産業の活性化を願う

2008. 8. 1 加藤俊夫

12年も前に書いた原稿ですが、現在にも通じるところがありそうです。

ご馳走を食べない日本企業

1980年代、日本の半導体産業はメモリを中心にシェアを伸ばし、世界一の王国を誇ったが、90年代になって韓国・台湾に抜かれて今やメモリーメーカーは東芝とエルピーダの2社になってしまった。液晶業界はシャープとカシオが電卓に採用したのが始まりで、次々と改良され終には大型テレビ受像機にまで発展して大きな花が咲いたが、この花を咲かせた主役は韓国・台湾企業となってしまった。太陽電池もまたサンシャイン計画などで日本が技術を確認し、生産でも世界をリードしてきたが、いざ大量生産時代になると諸外国に抜かれて今や第4位に落ちて見る影もない。更に今注目のLEDも、元を辿れば名城大の赤崎先生が世の中から見捨てられた青色レーザーに情熱を燃やして開発されたものに端を発し、日亜化学が量産技術を確率することによって、レーザーやLEDが日の目をみたわけであるが、これらの努力も間もなく海外勢に圧倒されると見られている。リチウムイオン電池もソニーと三洋電機が育てた産業であるが、電気自動車用に注目され海外勢の動きが激しい。このように、日本で生まれ育った技術は次々と海外メーカーがビジネス展開することになり、日本企業はどの分野でも敗色濃厚である。なぜ、日本の研究者が開発した成果(美味しいご馳走)を、日本企業は見向きもしないのだろうか？ 筆者は図1のような情景が頭に浮かんでしまう。



図1 近頃のbuffet風景、ご馳走を食べない日本企業

(いくら研究開発が進んでも、事業の食欲が湧かない)

2020年の現在も変わりませんね。液晶、LED、電池、太陽光発電など、日本がビジネス化の先鞭をつけたが、実益を得たのは海外企業でした。

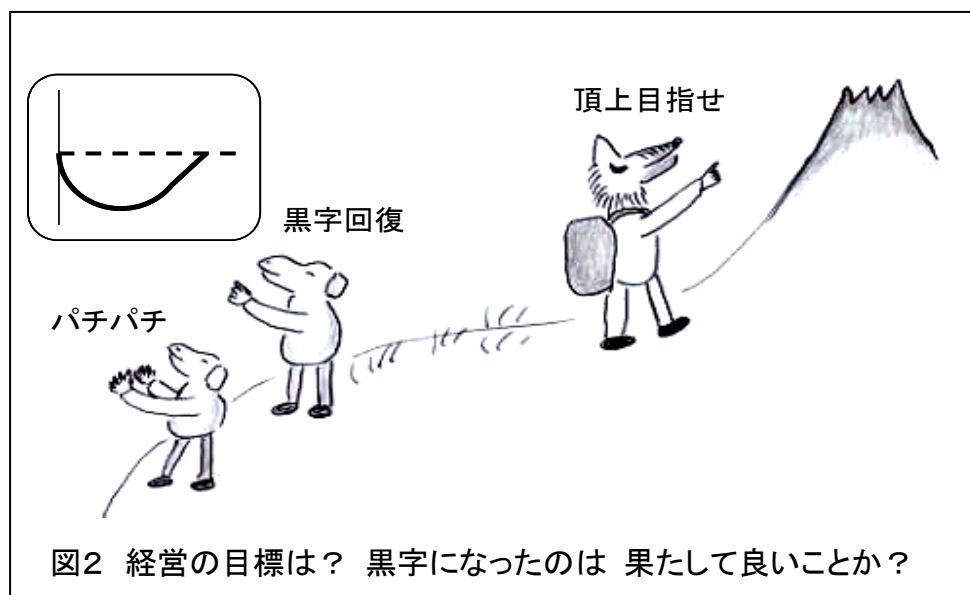
研究者の責任を問うのは酷だが

日本全国の大学や研究機関の研究レベルは世界最高に近いと言えよう。半導体研究のオリンピックと言われる ISSCC や IEDM の発表件数は、常にアメリカについて日本が多い。しかし、これらの研究は何のために行っているのだろうか。研究には2種類あり、宇宙や素粒子の研究はすぐに実生活に役に立つわけではなく、人類の知識を増やし真理の探求を目的としている。一方、工学の研究は、世の中に役に立つことを目的にしているはずで、実用されてこそ立派な研究と言える。いくら内容が高度であっても、だれもビジネス化しないのであれば、その研究は空振り三振である。

最先端研究を行っている研究者に聞きたい。「あなたは何のために研究しているのですか?」。当然、ビジネス化はビジネス界の人が考えるべきで、研究者の責任ではない。しかし、自分の研究が全く意味がないとなれば、何らかの聲が上がっても良いのではなかろうか。個々の研究者にこんな要求をしても無理だが、学会全体として何らかの取り組みがあっても良いと思うが。**2020年現在も変わりませんね。**

愛社精神を捨てよ

半導体業界では、もう大きな工場は作らないと言う「作らない政策」が蔓延している。半導体のプロセスは年々微細化が進展するので、現在最先端工場でも数年後には陳腐化してしまう。従って、最先端工場を建設し続けなければ10年後には満足な工場はなくなる。「日本から半導体工場が無くなっても良いのか!」。なぜ、こんなことになるのか、理由は明瞭である。即ち、数千億円もの巨大投資を行う体力がないので、生産は海外のファウンドリー会社に依頼する。設計だけなら大きな投資は要らないので当面の赤字は解消してヤレヤレと図2のように胸を撫で下ろし、経営者は安泰なのである。愛社精神のある経営者なら誰もが黒字のためこのような行動をとる。しかし長い眼で見て日本から最先端工場が消えてしまうと、大事な首根っこを海外企業に牛耳られ、結局は国全体として衰退して行くことになる。即ち、「小さな愛社精神が国を滅ぼす」ことになる。企業経営者には、愛社精神だけでなく愛国精神が必要なのではなかろうか。



日本の半導体メーカーへの提案

日本の全半導体メーカーが統合して、ジャパン・ファンドリー工場を建設してはどうかと言う意見が色々な方から出ているが、サクセスストーリーを描いた提案が少ない。現状の CMOS LSI を中心に考えていては、先行するファンドリー企業には勝てない。後から追いかける愚を犯してはならない。成功の可能性があるとすれば、次世代デバイスでも手遅れで、次々世代デバイスで勝負する他ない。現在は45nm から32nm へ移行する時代であるから、22nm では最早手遅れ、16nm なら何とか追いつける。16nm では、既存の Planar CMOS から Fin FET に代わる可能性があり、最初から Fin FET に特化して2015年営業開始のファウンドリーはどうか。実際に投資額、生産額、利益を試算してみると、表1のように高い利益率が得られる。売上面では、日本の半導体業界の売上は5兆円程度であるから、その半導体の1/3をファウンドリー会社に生産委託すると1.7兆円分となり、その内のウエファ工程に落ちる金額が1/3としても、6000億円/年の売上が約束されている。この試算は多くの前提条件を置いた無責任な計算だが、一つの可能性を示すものと受け止めて欲しい。実際、台湾ならファンドリービジネスが出来て日本では出来ない理由は何だろうか。台湾の方が人件費は安いと言っても全体の経費の中ではわずかな%である。逆に、台湾や韓国企業に比べて日本企業が優位な点もある。即ち日本には世界最高レベルの装置メーカーや材料メーカーが非常に多くあり、これらのメーカーとの強力な関係を築くのは日本メーカーならやり易く、次々世代技術を先取りできる可能性がある。

この主張通りにジャパン・ファンドリーを進めていたら、TSMC に対抗できる大企業になっていたかどうか？ 仮定の問題には答えられないが、可能性はあっただろう。孫正義氏のような胆力のある経営者がいるかどうかが決定的に重要かも知れない。

年	2015	2016	2017	2018	2019	2020
投資額	2000	600	1200	600	1200	1200
生産数(W/M)	20K	30K	50K	60K	80K	100K
製造費、経費	2240	2410	3100	3240	3860	4400
年間売上げ	1920	2880	4200	4320	5760	6000
営業利益	-320	470	1100	1082	1905	1602

表1 ファウンドリー事業の年間売上と利益（単位:億円、筆者による試算）

強い者はより強く――日本の部品産業

半導体がエレクトロニクス産業の基礎部品ならば、一般電子部品もこれに劣らない。しかも、日本企業が世界的にも圧倒的な実力を持っている。部品産業のトップ10の売り上げと利益を表2に示す。2009年の不景気な年であるにも拘らず10%近い利益を上げている企業が多いのは立派である。どの企業も独特のオンリーワン製品を持っており、他社の追従を許さない。しかし、最近のPCの90%は中国のEMS (Equipment

Manufacturing Service) 製と言われ、携帯電話や家電のセットでも同様なことが起こりつつある。更にEMSは ODM (Original Design Manufacturing) に変わりつつあり、設計もアジア諸国で行なわれ、日本製の最終製品にどんな電子部品や半導体を使うかは、アジアのODM企業が決める訳で、日本製部品が使われなくなる可能性が心配され、最近では日本製でない部品が増えているらしい。アジア諸国で一定レベルの品質の部品が安価に供給されるようになるのは時間の問題かも知れない。そうすると栄枯盛衰、部品産業も5～10年後は安泰とは限らない。これまでは、テレビ、ビデオ、PC などはG7が顧客であったが、今後はG20の諸国の年収3000ドルの層が主たる顧客になると言われ、性能を追いかけるビジネスは成り立たない。部品メーカーは好調な現在、次の展開を考えなければならない。

この心配は杞憂に終わったようです。スマホのような極く一般的な商品でも、日本の優れた部品が使われている。例えば、小型薄型にする必要から、0201のような超微細な部品が必要だが、作れるのは日本メーカーだけ。また、部品をモジュール化してノウハウで付加価値を得る戦略が成功している。

社名	売上高	営業利益	率(%)
京セラ	12000	1220	10.1
TDK	8800	620	7.0
日東電工	6300	630	10.0
日本電産	6600	1000	15.1
村田製作所	5900	620	10.5
アルプス電気	5200	240	4.6
日立金属	5000	330	6.6
ローム	3540	400	11.3
ホシデン	3000	110	3.7
イビデン	3000	310	10.3

表2 日本の部品メーカーの2009年度売上／利益
2020年の現在も、この好調は維持されている。

電子部品・材料メーカーも油断するな

部品産業の特徴は、半導体のように共通プロセスが余りなく、それぞれのメーカーが製造方法を全く独自に開発しており相互の関連が薄い。半導体の場合は、SEMI、SEAJ や SSIS などの団体があって強力な活動を行っているが、部品メーカー間にはこのような団体はない。これまでは特にニーズが無かったが、今後、アジア諸国の追い上げに対処するには、今から業界を挙げた活動が必要かも知れない。例えば、企業の枠を越えて多くの種類の電子部品を揃えてソリューションを提供するようなアイデアは如何か。

同様のことは材料メーカーにも言えよう。日本の化学メーカーは特徴ある材料を半導体や部品業界に提供して頂き、その発展を大いに助けており、世界的にも見ても実力が高いと言える。しかし化学産業全体で見れば、規模の点で海外化学企業には太刀打ちできないので、グリーンテクノロジー産業へ進出したい海外企業からいつ買収などの話が出てもおかしくない。油断大敵である。

電子部品関係の業界団体として、NEDIAができたのは歓迎である。

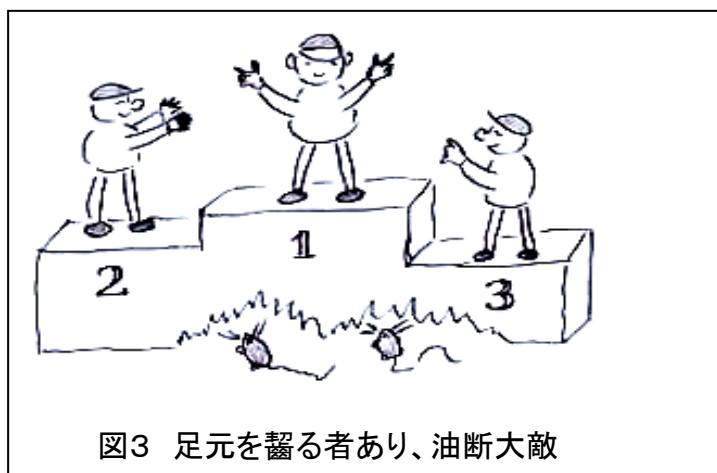


図3 足元を齧る者あり、油断大敵

政府にお願い

半導体や部品産業にとって最近の明るいニュースは、中国大使にビジネス界出身の丹羽宇一郎氏が就任されたことである。就任早々、自由貿易協定を早期に結ぶべしと発言されている。日本の業界は、中国を語ることなしには成り立たない。その点、中国の半導体生産は、注力された割には成功していないようで、日本の業界はこれに積極的に手を貸してはどうか。最先端ではないデバイスも中国では需要が多いので対処したい。それには、政府同士の協定などがあれば非常にスムーズに話が進むと思われる。この原稿を書いた10年前には想像していなかったが、GDPで圧倒的に日本を抜き去り、習近平政権が強権を振るい出して世界に脅威を与えている現在、中国の半導体産業を強化する上記の話は取り消しである。言論の自由がない共産党一党支配の中国が、日本の10倍の実力を持つと、日本とは主人と家来の関係になる悲劇が始まる。

筆者は以前テレビメーカーの半導体部門に勤めていたが、テレビの技術者に言ったものである。即ち、テレビメーカーは、部品メーカーが作った部品を買ってきて箱に詰めるだけの「ボックス産業」ではないか。デジタル時代になってこの傾向は特に加速され、誰でも顧客が満足できる一定のレベルの製品を、部品や半導体さえ買ってくれば出来るようになった。従って、産業界にとって最重要なのは、テレビや自動車のような完成品ではなく、そこに使われる部品産業を如何に発展させるかが問われている。政府の施策に期待するが、肝心のビジネス界が、小さな愛社精神に籠もってしまって大局を見る目を失ってはどうにもならない。50年と言う長い目でみると、日米の産業界の移り変わりは表3のようになっており、米国の大手企業がどんどん入れ替わっているのに対して

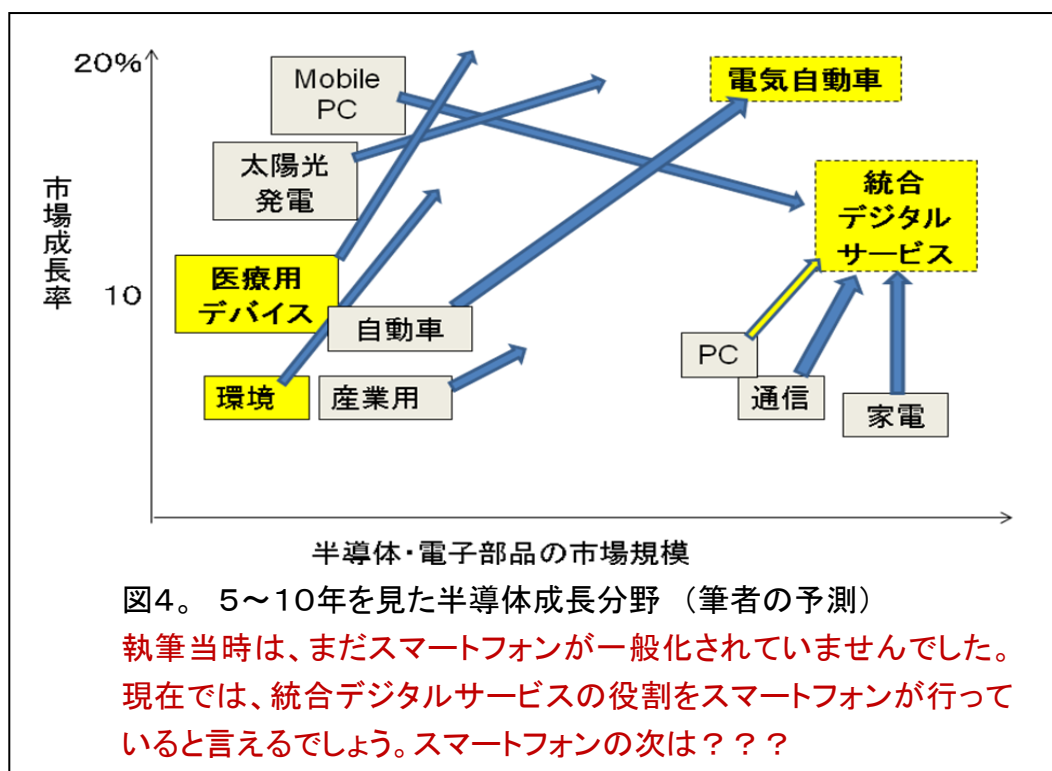
日本は全く変わらない。それぞれの企業が存続のため努力しているとも言えるが、政府や社会全体での護送船団方式でぬるま湯で支えあっているとも言える。潰れる企業は潰れる必要があると思うがどうだろうか、皆様はどう思われますか？

最後に、半導体や部品産業の将来性について、筆者は図4のような成長率の高い分野が多いと考えており、日本が主導権をもって世界をリードすることを期待している。

1960～70年当時の リーディング・カンパニー	→	2010年現在の リーディング・カンパニー
BTL(研究開発の中心) RCA(カラーTV) IBM(コンピューター王国) GE(世界一の家電、重電) ファチャイルド テキサス インスツルメント	→	マイクロソフト インテル ベンチャー企業群 IBM テキサス インスツルメント
東芝 日立 松下	→	東芝 日立 松下

表3 エレクトロニクス業界における50年間の
日米のリーディング企業の変遷

2020年の現在は、GAFA の時代に替わりました。たった
10年間で主役が交代です。変化の激しさに驚きです。



「スマホの次はスマホ」という意見があります。確かに、急にパソコンやスマホに取って代わるプラットフォームと呼ばれるサービスが出てくることはないかも知れません。AI、IoT、5G通信、自動運転車、医療の革新、量子コンピューターなどが話題になっています。クラウドのバックアップとして、エッジコンピューターが大いに活躍するかも知れません。世界情勢を見ると、人口が100億人に近づき大部分の人が都市に集まり、食料や水の供給が心配され、地球温暖化の対策も簡単ではありません。ビジネスチャンスは一杯転がっているように見えます。現在は、GAFA が美味しいご馳走を食べていますが、10年後には主役交代している可能性大でしょう。ますます楽しい時代になりそうです。