

## レーザーコンパス

## 素材革命と文明の進歩

浜川 圭 弘\*

Yoshihiro HAMAKAWA\*

人類文明の進歩が、その時代に出現し、普及した新素材の名で特徴づけられることは、古くは“青銅器時代”、“鉄器時代”そしてつい最近の半世紀を考えても“プラスチック時代”など、材料名で、時の文明が代表され、呼ばれていることから明らかである。

今世紀最大の発明とまで云われたトランジスタの出現は、あらゆる電子素子をつぎつぎと電子管から半導体素子へと置き換え、果ては、回路システムごと集積化した、文字通り固体電子工学と云う学術の一分野を造り上げた。今日、われわれの日常生活を見まわしてみても、“茶の間のテレビに VTR”，そして、オフィスの“OA機器”，さらには、生産現場での“CAD-CAM や産業ロボット”にと、エレクトロニクスはもはや、現代人の生活維持に必需の道具となり、コンピュータを駆使した高度情報処理システムは、社会の中枢機能をまかなって神経系統とも云うべき役目を果している。たしかにトランジスタなくしては、こうした大型コンピュータも、手の掌に乗る電卓も生れ無かつたらうし、また宇宙開発も実現しなかったことを想うと、トランジスタの発明が、現代文明にもたらした意義の大きさには、今更乍ら感服する。

ところで、こうしたトランジスタの誕生と、その後の目覚ましい各種半導体デバイスの開発が、何によって成されたかを探究してみると、

その底流には、材料の高純度精製技術と結晶成長技術ならびに、出来上った高純度巨大結晶への微量不純物制御技術、つまり価電子制御技術の発達に負うところが多い。例えば、トランジスタそれ自体の発明が、ゾーンリフアイニング法によるゲルマニウムの高純度精製の成功と、チョクラスキー法による単結晶化によつてはじめて実現したのである。それまでは、半導体と云えば、比抵抗すら造るたびに桁違いに変動し、ましてや p 形、n 形の伝導型の制御などおよびもつかない材料とされ、実験物理屋の中では泥沼のような分野とさえ云われていたのである。こうして誕生したトランジスタは、引きつづき、その後の結晶成長技術の進歩によって、ゲルマニウムからさらに超高純度化し易いシリコンへと引きつがれ、相継いで開発されるこの材料への価電子制御技術の発達とともに、大きく成長してきたのである。その証拠は、トランジスタの型式の進歩が、合金型トランジスタから、拡散型⇒イオン注入型⇒エピタキシャル型トランジスタなどと、その時代の新技術とされた不純物制御技術の名がそのままつけられてきた事実を見ても明らかである。

こう考えてくると、材料の物性制御が自由になって、その時代の要求する“希望の性質”を持つ材料の製造技術が完成すると、それから大きな“**Technological Innovation**”が生れる…

\* 大阪大学基礎工学部、電気工学科（〒560 豊中市待兼山町1-1）

\* Faculty of Engineering Science, Osaka University (1-1, Machikaneyama-cho, Toyonaka, Osaka 560)

と云えそうである。そして、その新素材も、かつての青銅器時代や鉄器時代のような、云わば、**構造材料**的なものから、ガラス、合金材料そしてトランジスタの世代前の人工繊維やプラスチックなど、云わば、**機能材料**としての性質が要求されるようになってきた。すなわち、一口に材料の性質と云っても、機械的強度や熱的性質から、透光性、電気的性質、光電的性質など、原子的性質の制御性から、電子的性質の制御性に到る材料設計ができる“**Synthetic Material**”が、新しい文明を生み出す新素材となりつつあると云うことができる。

科学技術の進歩にも“**流れ**”と“**波**”がある。かつて、真空管の発明にも、クルックス管の中で電子がビーム状になって陽極に向かって走ることが確認され、しかもそのビームが電場や磁場によって自由に制御（当時は偏向）できることが理論ならびに実験的に証明され、電子ビームと云う概念をめぐる知見が整理されたところに、“熱電子放出”、“水銀拡散ポンプや油拡散ポンプによる高真空技術の完成”、さらには“ゲッター作用”による残留分子の固定法など、云わば周辺技術の進歩の流れとが合致してド・フォレの三極真空管の発明と云う、“**Innovation**”が出来たのである。トランジスタの誕生にも、前述してきたように、半導体の高純度精製技術と単結晶製造技術が開発され、こうしてできた当時の新素材であるゲルマニウム単結晶に“正孔の注入”と云うトランジスタ作用が確認され、そこへ、半導体中の電子や正孔の密度を自由に制御する価電子制御技術が完成して、半導体がいよいよ**Synthetic material**としての要素が出揃ったのである。発明当初、信頼度、機能とも電子管より劣ると評価されたトランジスタが、今日の半導体工業へと大きく成長するには、こうした素地があったのである。つまり、一つの**Innovation**と云う“波を立てる”のには、背景となる科学的知見、それをとりまく周辺技術の成熟度など、多次元の流れが、シーズとなって幾つも折重なって、そこに、技術分野に求められるニーズがうまく整合して、大波として成長

するように思えてくる。

さて、エレクトロニクス時代を築き上げてきた現代の新素材“シリコン結晶”から、1990年代に向って、新しい“**Technological Innovation**”が出るとすれば、それは、何によって引き起されるであろうか？その答を上述した論法で導くとすれば、ここ、10年ばかりの技術の流れと、科学技術によって得た新しい知見から、“**Synthetic material**”へと依替えしつつある新素材は何か？と云うことになる。先ず、最近の材料精製技術や超高真空技術の進歩によって、無機材料のみならず、有機金属に至るまで、超高純度の出発原料が得られるようになり、これに、プラズマCVD、MOCVD、光CVD、ECRCVDなどの新しい薄膜形成技術が実用化されつつあり、その素材についても、半導体のみならず、金属、絶縁膜から、PVDのような有機ポリマーに至る広い範囲の材料全般にわたっている点に気がつく。つまり、“**バルク結晶時代**”から“**多層化薄膜時代**”とでも云うべき、一つの流れがある。トランジスタから超LSIへと大きく進歩をみた半導体技術に見逃してはならない今一つの“流れ”は、**微細加工技術**の進歩がある。この点についても、ホトリソグラフィから、X線→電子ビームから、最近のイオンビームリソグラフィへの流れは、電子素子の薄膜化、多層化に向って都合のよいように進歩してきている。一方、こうした流れの駆動力となるニーズとしては、常に“**より多くの情報を**”、“**より速く**”そして“**より微少消費電力**”で処理すると云う、**情報処理の経済性**に基ざった大原理から、素子の集積密度の上昇から、現在の平家建ICから、高層ビル化IC（素子の3次元化）への永い間の要請が、こうした多層薄膜化技術の完成によって実現されるものと考えられる。

こうした技術的志向の流れの中にある薄膜状新素材は、シリコンなどの単元素半導体から、GaAsを中心とする化合物半導体はもとより、価電子制御の効く、四配位系アモルファス半導体、それに、アモルファス金属や形状記憶合金を含む、新合金膜、透明強誘電体膜など、多種

多様で、世間で、“ニューセラミックス”と呼ばれている材料の全般にわたって、薄膜化、多層膜化が進んでいるようである。また、多層膜化によって生み出される新機能をめざした、超格子素子やLB膜も、こうした流れに沿った研究開発の動きとみて良いように思う。中でも、アモルファス物質やニューセラミックス材料の強みは、結晶材料で大事な軸合せ成長(Epitaxial

Growth)と云う面倒な工程から開放され、どんな異種材料の上にも容易に成長が可能で、加工性、量産性に富むことである。果して、“バルク結晶時代”から“多層薄膜化時代”の流れを背負う、新素材の候補は広い材料分野で顔を出しはじめているようである。今しばらく楽しみにしてバライティに富んだ機能材料をめぐる各分野の動きを見守りたいものである。