

## マイクロ波固体デバイスの研究

松尾 幸人\*

マイクロ波半導体デバイスの発達はきわめて目覚ましいが、さらにマイクロ波出力や能率を高くしたり、動作周波数をミリ波帯に求めようとすると、その幾何学的な構造が微細化し、その結晶成長技術の向上が重要な問題となってくる。また材料の点に関しても現在は主としてSiやGaAsなどが用いられているが、デバイスの種々の機能を満足するのによく適合した材料を育成開発することも重要な研究課題となってくるが、これらについて概略を述べてみよう。

ガン、インパットならびにFETなどのマイクロ波デバイスの研究は一応の成果を得ているが、解決しなければならぬ重要な問題もかなり残されている。それらのうちで製作技術の向上で飛躍的に発展する課題がきわめて多い。例えば、GaAs-インパットで特殊な濃度分布、すなわち0.1 $\mu$ m程度の幅で段階的に低-高-低の電子濃度分布をもった、いわゆるlo-hi-lo形インパットでは46%の能率が理論的に得られているが、この試作には上述のようにきわめて微細制御の出来る結晶成長技術が必要である。またDDR形インパットが能率、出力ともに優れていることは知られているが、それには同じように複数個の薄層を厚さとキャリア濃度を精密に制御して作る技術が必要であり、ミリ波帯のインパットでも動作領域がきわめて薄くなり、n<sup>+</sup>層からn、p<sup>+</sup>層への遷移領域の不純物濃度の変化が急峻であることが要求される。GaAs-FETでは絶縁基板上に厚さのきわめて薄い薄膜状のチャンネル部を育成し、その境界付近の電子移動度の低下しないことが動作上より要求され、それには動作層と基板との格子定

数の整合その他が重要な問題となってくる。

以上は従来からの固体デバイスに関する問題であるが、新しいマイクロ波固体デバイスとして研究されている超格子は、母結晶の格子定数に比して十分長い周期を人工的に作ったもので、例えば約60Åの長さのGaAs層と約10ÅのGa<sub>x</sub>Al<sub>1-x</sub>As層を100層程度、遷移領域が急峻で周期性よく連続結晶成長させる技術が必要になってくる。またフェライト中の空間波モードと半導体中のキャリアとの結合によって、特殊な機能のマイクロ波増幅または発振を得ようとする考えは昭和42年に我々の研究室で提案したが、最近はこの考えを発展させて空間波モードの代りに表面静磁波モードを用いて増幅、発振を得ようとする試みが理論的にも実験的にも国外、国内で行なわれている。これを実施するにもかなりの超精密技術と、この機能にうまく整合した半導体材料の育成が重要である。

これらの研究からわかるように、従来のマイクロ波固体デバイスの段階的発展、ならびに新しい型の機能デバイスの開発は、精密に制御出来る結晶成長技術、微精加工技術の向上がその鍵をにぎっている。すなわち、液相、気相エピタキシャル成長技術は勿論のこと、数Åの程度で膜厚が正確に制御できる図示のような分子線エピタキシー、Siには利用されているが、化合物半導体への応用はむっかしく応用例も少ないイオン注入などの精密制御、ならびにデバイスを作りあげるいろいろなプロセス技術の向上などの飛躍的発展を期待したい。

次に半導体材料について考えて見ると、現在よく用いられているSiについてはその歴史が古く、その結晶成長技術ならびに微細加工技術はかなり向上していると見てよい。

Siとともによく用いられているGaAsはその歴史も浅く、n-GaAsを用いたガン・ダイオ

\*松尾幸人 (Yukito MATSUO), 大阪大学産業科学研究所, 教授, 工学博士, 電子デバイス, 量子エレクトロニクス

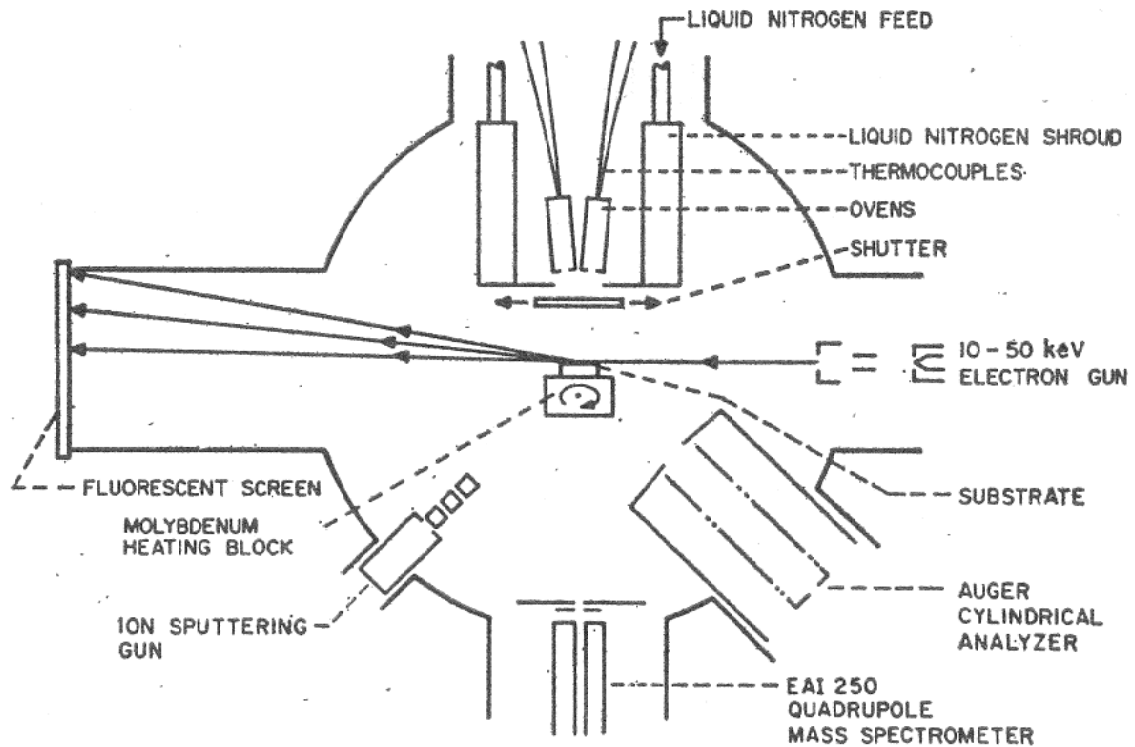


図 分子線エピタキシャル結晶成長装置

ードの報告がその動機となっており、その技術は Si よりも劣っていることは否定出来ない。マイクロ波半導体としての物性は種々の点で GaAs が Si より優れており、今後、GaAs の結晶成長技術の向上により現在のマイクロ波固体デバイスはさらに性能が向上するものと思われる。

その一つの例として、前述の DDR 形インパットでは、GaAs の使用は製作上から困難でその試作例も二、三に過ぎず、その特性も Si-DDR より遙かに劣っており、また SDR 形インパットにおいても、20~30GHz 付近より上の周波数帯で GaAs が Si よりマイクロ波特性が劣っているが、これらは本質的なものとは思われない。

また GaAs は電子と正孔に対するイオン化率が殆ど同じことが、インパットとしての能率向上、ならびに低雑音特性に有利であるとされていたが、最近の研究では、これらの間に4~6倍の開きがあることが報告されており、結晶成長技術の向上とともに GaAs 自体の物性についても研究が必要のように思われる。

化合物半導体間の混晶は、組合せる化合物半導体の種類、配合比によってその物性を任意に

変えることが可能で、いろいろな三元化合物半導体が育成されており、四元化合物半導体の報告もある。最近では、我が国で高電界ドメイン効果を生ずる臨界電界が低く、ドリフト速度の最大と最小の比が大きく、新しい機能素子用材料として注目されている  $Ga_xIn_{1-x}Sb$  を育成し、満足すべき動作を得ている。このような研究はマイクロ波固体デバイスに限らず、能率の良い発光ダイオードや半導体レーザを得るためにも重要な分野である。

従来までは、自然に与えられた材料の物性を生かした種々の機能デバイスの開発が主であったが、今後は、希望の性能または特殊な機能を生かした固体デバイスに適した新しい物質を作りだし、高度に開発された気相、液相エピタキシー、分子線エピタキシー、イオン注入などの技術を駆使して、上述のデバイスを作りあげることが重要な研究テーマとなってくるだろうし、現在そのような研究開発がなされつつある。

デバイス研究者と結晶成長技術、ならびに種々のプロセス技術の開発も含めた材料研究者とのより緊密な協同研究が今後ますます必要であろう。