

一橋大学 GCOE プログラム
「日本企業のイノベーション—実証経営学の教育研究拠点」
大河内賞ケース研究プロジェクト

ソニー
MOCVD 法による化合物半導体デバイスの開発と量産化

工藤悟志
清水洋

2010 年 8 月

CASE#10-09

本ケースは、一橋大学グローバル COE プログラム「日本企業のイノベーション—実証経営学の教育研究拠点」から経費の支給を受けて進められている、「大河内賞ケース研究プロジェクト」の研究成果のひとつである。このプロジェクトは、大河内賞を受賞した業績について事例分析を行うもので、(財)大河内記念会と受賞企業のご協力をえながら、技術革新の概要やその開発過程、事業化の経緯や成果などを分析している。事例研究を積み重ねて、日本の主要なイノベーションのケース・データを蓄積するとともに、ケース横断的な比較分析を行い、日本企業のイノベーション活動の特徴や課題を探り出すことを目指している。なお、本プロジェクトを進めるに際して、(財)大河内記念会より多大なご支援・ご協力をいただいております、心よりお礼を申し上げます。
(プロジェクト活動の詳細については [http://www.iir.hit-u.ac.jp/iir-w3/research/GCOEokochiprize\(A\).html](http://www.iir.hit-u.ac.jp/iir-w3/research/GCOEokochiprize(A).html) を参照のこと)。

※本ケースの著作権は、筆者もしくは一橋大学イノベーション研究センターに帰属しています。本ケースに含まれる情報を、個人利用の範囲を超えて転載、もしくはコピーを行う場合には、一橋大学イノベーション研究センターによる事前の承諾が必要となりますので、以下までご連絡ください。

【連絡先】 一橋大学イノベーション研究センター研究支援室

TEL:042-580-8423 e-mail:chosa@iir.hit-u.ac.jp

ソニー

MOCVD 法による化合物半導体デバイスの開発と量産化¹

一橋大学大学院商学研究科

工藤悟志

一橋大学イノベーション研究センター

清水洋

¹ 本ケースを作成するにあたり、多くの方々にインタビュー調査に協力いただいた。お忙しい中、貴重な時間を割いてご協力頂き感謝する。特にインタビュー調査だけでなく、講演の依頼も快諾頂いた眞峯隆義氏には、深く感謝する。本ケースは講演やインタビュー調査、後掲の資料などを参考にしている。ただし、本稿の記述はあくまでも筆者の理解に基づくものであり、その責任はあくまでも筆者にある。また、本稿は企業経営の巧拙を示すことを目的としたものではなく、分析並びに討議上の視点と資料を提供することを目的としている。

1. はじめに

1982年に発売されたコンパクト・ディスク（以下 CD）システムは、それまでのアナログ・レコードから、音楽情報の蓄積の仕方を大きく変えるイノベーションであり、その後大きく進むこととなるデジタル化の最初の一步であった。この CD システムにおいて重要な役割を担ったのがソニーであった。

ソニーは、オランダのフィリップス社と共同で1979年8月から CD の開発を進めていた。1982年8月31日、ソニー、CBS・ソニー、フィリップス、フィリップス・ポリグラムは、4社共同の CD システム発表会を大手町の経団連会館で開催し、同年10月に CD システムを国内で販売を開始することを発表した²。

1982年10月1日、ソニーは CD プレーヤーの第1号機「CDP-101」を発売した。価格は16万8000円で、一般消費者向けの商品としては高額であった。ソニーの CD プレーヤーの1号機を CDP-101 と名付けたのは、CD の商品化を強力に推進したオーディオ事業部長の出井伸之氏であった³。しかしながら、出井氏は、CDP-101 の発売の日を入院先の病院のベッドの上で迎えていた。CD 商品化に対する激務から、肺炎で倒れてしまった。当日の新聞に掲載された CDP-101 の広告を見つけ、「とうとう発売だなあ」と感慨にふけたという。CDP-101 の発売と同時に、CBS・ソニー（現ソニー・ミュージックエンタテインメント）から世界初の CD ソフト 50 タイトルが発売された⁴。年末までに 100 タイトル余りのソフトが発売された⁵。

CD プレーヤーのハードウェア開発では、ソニーの各部門が、事業部の壁を越えて協力し、商品化にこぎ着けた。さらに、ソニーと CBS・ソニーの両社の社員が「何とか CD を新しい時代の商品にしよう」と連携し、ハードウェアとソフトウェアの両輪をつくり上げた。のちに当時の副社長であった大賀氏は、「CD ほど、ソニーグループ全部の持てる力をうまく使った例はないだろう」と語ったという⁶。

² 当日の夕方から夜のテレビニュースと翌日の朝刊は、一斉に「オーディオの夢誘うデジタルのプレーヤー登場」「『デジタルオーディオ時代』幕開き」などと報道したという（ソニー（1996））。

³ 出井氏は「101」を、「0101」から名付けた。デジタルは「0と1の組み合わせ、つまり2進法の世界である。2進法では、「0101」は5を表す。出井は「5という数字は、中級クラスの製品名を表すことが多い」と思っていたので、「これはソニーの中級機種」というメッセージを「101」に込めたという（ソニー（1996））。

⁴ 記念すべき CD ソフトの生産第1号はビリー・ジョエルの「ニューヨーク 52 番街」であった。

⁵ CD ソフトの国内生産枚数を見ると、CD システムの急速な普及の様子がわかる。1984年11月にポータブル CD プレーヤー「D-50」（4万9800円）が登場した。その当時 LP レコードと比べればまだ10分の1程度の生産枚数だった。それがわずか2年後の1986年、年間4500万枚という生産枚数を分岐点に、LP レコードを逆転したのである。1988年前後には、CD ソフトは LP レコード最盛期の生産量の1億枚を超し、10年後の1992年にはその3倍の3億枚を突破した。

⁶ ソニー（1996）

CDシステムは、CDディスクや信号技術、光学ピックアップ⁷などさまざまな技術から構成されている。CDプレーヤにおいて最も重要な要素技術の1つに半導体レーザ(LD:Laser Diode)がある。

半導体レーザとはレーザ光⁸を発振するデバイスであり、1962年にアメリカで最初に発振された。この1962年の半導体レーザは液体窒素温度での発振だったため、まだ実用化されるようなものではなかった。しかし、1970年にベル研究所が室温連続発振を達成したのが契機となり、多くの企業が研究開発を開始したのである⁹。半導体レーザの研究開発は光通信の光源として始まった。1970年代後半からは、光通信だけでなく、情報処理用の半導体レーザの開発も始まった。現在では、光通信だけでなく、CD、CD-R、DVDなどの情報記録、バーコードリーダーやプリンタ、医療用や加工用、センサーなどさまざまな分野で半導体レーザは使われている。1982年に発売されたCDはこの半導体レーザの最初の民生用の大きなアプリケーションであった。

そして、このCD用の半導体レーザのデバイス開発の背後には、半導体レーザの要素技術開発とMOCVD法の生産技術開発という2つのプロセスイノベーションがあった。MOCVD法の改良は、半導体レーザに代表される化合物半導体デバイスの量産化に大きく貢献した。ソニーは、1990年にこの半導体レーザのMOCVD法による開発と量産化によって、第36回大河内記念生産賞を受賞している。本ケースでは、半導体レーザの開発を中心にソニーにおけるMOCVD法による化合物半導体デバイスの開発と量産化のプロセスを記述する。

2. コンパクトディスク

MOCVD法による化合物半導体デバイスの改良と量産化についての理解を助けるために、ここではまずCDと半導体レーザの技術的な特徴とその開発の歴史的な経緯を概観する。

CDとは、音楽を記録するための光ディスクの1つの規格である。ディスクの直径は12センチであり、最大演奏時間74分42秒の音楽を記録することができる。ディスク上の小

⁷ 光学ピックアップは、CDやMD、DVDなどの光ディスクシステムにおいて、ディスク上のピット(ミゾ)から信号の読み出しや、ディスク上への信号の書き込みを行う光学系+半導体レーザからなる光学ヘッドのことである。光学ピックアップの役割は、①レーザ光をディスク上のピットに集光させる、②集光したレーザ光をトレースさせる、③ディスク上のピットからの反射光を検出する、ことである。光学ピックアップは半導体レーザ、レーザ光検出IC、ビームスプリッター、集束レンズなどの部品で構成されている。

⁸ 自然界にある光は、波が不連続で波長が揃っていない。一方、光の波として性質を生かし、波の位相と波長を揃えた人工の光が「レーザ」である。レーザ光は、指向性、干渉性、単色性に優れ高いエネルギー密度をもっている。このため太陽光や電灯の光などの自然光とは異なり、あまりひろがらずに遠くまで直進するという特性を持っている。

⁹ 半導体レーザの歴史的な流れについては、Hiroshi Shimizu (2011) "Different Evolutionary Paths: Technological Development of Laser Diodes in the U.S. and Japan: 1960-2000", *Business History* (Forthcoming)を参照のこと。

さな穴（ピット）という形で情報は記録される。その信号をレーザ光を用いて読み出すのが CD 方式である。また、CD 方式はディスク上に記録された情報を検出するためにレーザ光という光を用いる。その光は次のような条件を満たすことが必要となる。その条件とは、①干渉性の良い光であること、②ディスク上のピットサイズ程度に集光できること、③信号を読み出すために必要な光量が得られることである¹⁰。CD 方式では、光をレンズで集光しディスク上の情報を検出する。波長と位相のそろった干渉性の良い光を集光させると、一点に絞れる。しかし、干渉性の悪い光を対物レンズで集光すると、一点には絞ることができず、光源の実像が形成されてしまう。そのため、CD 方式の光源にはレーザが使われる。

光を利用した情報記録の研究はビデオディスクから始まる。少し歴史を見てみよう。ビデオディスクの研究は 1960 年代初めからアメリカで開始されていた。1961 年にスタンフォード大学がフォトグラフィック・ビデオディスクを開発した。1965 年にはアメリカのアンペック社が磁気ディスクを使った方式を開発していた。

1970 年代に入るとビデオディスクの開発はより盛んに行われるようになり、さまざまな方式のビデオディスクが開発された。1970 年に、イギリスのテルデック社と西ドイツのテレフンケン社が圧電式のビデオディスク（TED 方式）を開発した。松下電器もこの TED 方式のビデオディスクを開発していた。1972 年には、RCA が静電式のビデオディスクを開発した。日本ビクターはディスクに溝を作らない方式の静電式のビデオディスクを開発した。

1972 年 9 月、フィリップスは光学式のビデオディスクを開発した。これは、CD へとつながる重要な技術であった。直径 30 センチのプラスチックディスクの表面からおよそ 1mm 内面にあるアルミニウム反射面に信号を埋め込み、レーザビームの反射光が信号の凹凸による光路差を読み取る方式であった。1972 年には、MCA がディスクビジョンという名称で同じく光学式のビデオディスクを提案した。フィリップスや MCA の方式は、レーザ光の反射光を使って光学的に信号を検出する方法であり、それまでのビデオディスクとは異なるものであった。1973 年にはフランスの Thomson CSF からも光学式のビデオディスクが提案された。

さまざまな方式のビデオディスクが開発される一方で、デジタルオーディオ信号を記録する技術も 1970 年代中頃から日米企業を中心に始められていた。1977 年 10 月のオーディオフェアで、デジタルオーディオ記録の技術が 3 つのグループから発表された。三菱電機・ティアックと東京電化の 3 社共同グループ、日立製作所とコロムビアの 2 社共同グループ、そしてソニーは単独で、それぞれ独自に開発した光学式デジタルオーディオディスク (DAD) を発表した¹¹。各社それぞれ独自に開発した方式で、ディスクにいかにか大量の情報を記録するかについて競争していた。この DAD の光源もそれぞれ異なるものであった。それまでビデオディスクでは He-Ne レーザが使われていたが、日立製作所と三菱電機は半導体

¹⁰ 中島平太郎・小川博司（1996）, 13 頁を参考にした。

¹¹ 中島平太郎・小川博司（1996）

レーザを使ったプレーヤを開発していた。

このようにさまざまな方式のビデオディスクや DAD などが開発されてきたため、標準化を進めるために 1978 年 9 月に DAD 懇談会が発足した。この懇談会において標準化を確立するために、フィリップスとソニーは 1979 年 8 月に共同研究開発を始めた¹²。そして、前述のようにソニーとフィリップスは Compact Disc (CD) 方式を提案したのである。同じ時期に、日本ビクターから Audio High Density(AHD)方式、テレフンケンとテルデックから Mini Disc & Micro Disc(MD)方式が提案された¹³。これらの 3 つの方式が DAD 懇談会に提出された¹⁴。1980 年 10 月のオーディオフフェアで、これらの 3 方式の公開実験が行われ、1981 年 4 月に DAD 懇談会は CD 方式と MD 方式をオーディオ専用、AHD 方式をビデオ・オーディオ共用として評価した。1981 年 10 月のオーディオフフェアでは CD 方式を採用した会社は 16 社であった一方で、MD 方式は出展されなかった。そして、1982 年 10 月に各社一斉に CD 方式のプレーヤの発売を開始したのである。CD の売上げは 1986 年にはレコードを抜き、音楽情報の記録の技術を大きく変革した。

¹² 両社は、すでに VTR に関して 1966 年にフリー・クロスライセンス契約（お互いが、相手の所有する特許を自由に使えるようにした契約）を結んでいたが、デジタルオーディオディスクの共同開発を開始した翌月、改めてディスク開発を含め、より広範囲のフリー・クロスライセンス契約を結んだ。共同研究は、東京とアイントホーフェンで、数ヵ月おきに交互に会議を開き、研究成果について意見交換を行っていく形式がとられた。ソニー側からこれらの会議に出席して技術交渉にあたったのは、技術研究所の中島氏、土井氏、ディスク開発部の宮岡氏たちであった。最初は、「とにかく信号を入れるための大まかなところを決めよう」ということで平和に始まったのだが、とにかく研究熱心な両社の技術者は、すぐにハードディスクカッションが始まったという。フィリップスは、光学方式のビデオディスクのリーダー的存在であり、ソニーはデジタルオーディオ信号処理技術を開発している。両社が手を組めば、理想的な音楽メディアができるに違いない。さらに、両社には自前のソフトウェアの会社がある。フィリップスにはポリグラムという世界的なレコード会社があり、ソニーも 1968 年に設立した CBS・ソニーレコード（現ソニー・ミュージックエンタテインメント）が大きく成長していた。彼らがこの新しいメディアのソフト供給者となってくれる。この時、大賀氏はソニー副社長であると同時に、CBS・ソニーの社長も兼ねていた（ソニー（1996））。

¹³ それぞれの方式については、中島平太郎・小川博司（1996）、74-79 頁が分かりやすい。

¹⁴ ソニー・フィリップスが提案した光学式と他の 2 方式の間には大きな違いがあった。光学式ディスクの場合、ピット（小さな凹み）の配列でできている信号面が、ディスクの内部にあり、表面にはまったく溝がない。プレーヤーのピックアップは、接触することなく、光をディスクに当てて内部にある信号を読み出すため、摩耗、摩擦、目詰まりなどの接触によって起きる問題の心配はなく、寿命も非常に長く保てる。少々雑に扱っても、原音により近い良い音が繰り返し聴ける。「LP レコードに代わる次世代のディスクにするならば、取り扱いがより簡単でなくてはならない」とソニーの技術陣は考えていた。他の 2 つの方式は、いずれもディスクと接触して信号を読み取る方式だった（ソニー（1996））。

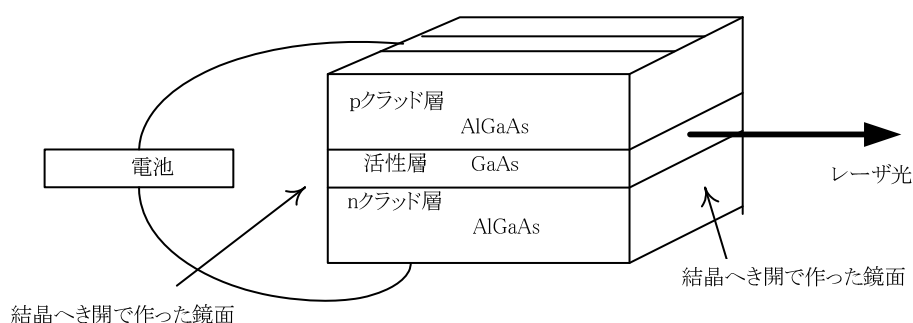
3. 半導体レーザー

1970年代までのビデオディスク開発においては He-Ne レーザが使われていたが、CD 方式では半導体レーザーが光源として使われることとなった。半導体レーザーの最も大きな特徴はその小型さにある。半導体レーザーの大きさは、およそ $0.1\text{mm} \times 0.1\text{mm} \times 0.4\text{mm}$ であり、キャップなどをつけ、パッケージングをした状態でもわずか 1cm たらずである。また、ガスレーザーなど他のレーザーと比べるとかなり小型あるだけでなく、消費電力も少ない。そのため、CD には理想的な光源として考えられていた。ここでは半導体レーザーの構造と製造方法を概観した上で、本ケースが対象とする MOCVD 法もその 1 つである結晶成長技術を見てみよう。

3.1 半導体レーザーの構造

半導体レーザーの構造を簡単に見てみよう¹⁵。現在、さまざまな構造を持つ半導体レーザーがあるが、その多くに共通する基本的な構造はダブル・ヘテロ (DH : double hetero) と呼ばれるものである。図 1 で示されるように、半導体レーザーは 3 層のサンドウィッチ状の DH 構造を持っている。真ん中に挟まれた活性層は誘導放出¹⁶光 (レーザー光) を生み出す層である。ここで例示されているものは GaAs (ガリウム・ヒ素) を材料にした半導体レーザーである。この活性層を挟み込み、誘導放出光を閉じ込めるのがクラッド層である。ここでは AlGaAs (アルミニウム・ガリウム・ヒ素) がクラッド層の材料として使われている。活性層とクラッド層に異なる材料を用いて結晶を接合させる構造をヘテロ接合と呼ぶ。ヘテロ接合が 2 カ所あるため、DH 構造と呼ばれている。活性層に閉じ込められた光は両端の結晶へき開¹⁷の鏡面の間で往復し、増幅した上で、レーザー光として放出される。

図 1 : 半導体レーザーの基本的な構造



出所 : 平田照二 (2001) 『わかる半導体レーザーの基礎と応用』 CQ 出版社, 54 頁.

安藤幸司 (2003) 『光と光の記録』 産業開発機構株式会社, 194 頁.

¹⁵ 半導体レーザーの構造に関しては、栖原敏明 (1998)、神戸宏 (2001)などが詳しい。

¹⁶ 誘導放出 (stimulated emission) とは、電子が上の準位から下の準位に落ちるときに外部の光が電子に刺激を与えることで強制的に落ちて、刺激光と同じ光を出す現象である。

¹⁷ へき開 (cleave) とは、結晶の格子面を出すために行う操作で、ダイヤモンドカッターでけがきを入れて、けがきに沿って開くように割ることである。

次に半導体レーザ製造の工程を見てみよう。半導体レーザの製造の流れは大きく分けて 4 つに分けられる¹⁸。(1)結晶成長、(2)電極プロセス、(3)ペレタイズ、(4)測定/評価の 4 つである。

(1). 結晶成長

半導体レーザを製作するとき、最初に必要になるのが結晶成長（エピタキシー）である。結晶成長によって、半導体レーザに必要なサンドイッチ構造¹⁹を単結晶として作り込むことである。基板結晶（ウェハ：wafer）に原子の並び（格子）が整っていて、原子結合がしっかり形成しながら積み重なっていくように結晶成長をする。このような結晶を得るためには成長条件（成長温度、原料供給量や原料混合比など）を正確にコントロールする技術が必要である。

この工程でレーザの基本構造である 3 つの層（クラッド層、活性層、クラッド層）と電極をつけるための層が、半導体結晶として作られる。結晶成長技術は半導体レーザの寿命や波長、生産コストなどを大きく左右するものであり、半導体レーザにおいて、最も重要な技術のひとつである²⁰。

結晶成長法はいくつかあるが、ここでは大きく 3 つに分類する。ひとつは液相成長法（Liquid Phase Epitaxy, 以下 LPE）である。もうひとつは気相成長法（Vapour Phase Epitaxy, 以下 VPE）である。VPE のひとつに有機金属気相成長法（Metal Organic Chemical Vapour Deposition, 以下 MOCVD）がある。LPE と VPE の他に分子線成長法（Molecular Beam Epitaxy, 以下 MBE）がある。

(2). 電極プロセス

結晶成長のプロセスの後は、電気を流すための電極を結晶基板（ウェハ）の上部と裏面に電極付けを行うプロセスである。p クラッド層の上部に電氣的接触のためのコンタクト層と呼ばれる補助層をつくる。コンタクト層の表面に真空蒸着によって電極金属を貼り付ける。次に n クラッド層の底面を研磨して 100 μ m 程度にした上で、電極を貼り付ける。

(3). ペレタイズ

ペレタイズは、レーザの側面に鏡面を作るプロセスである。レーザ光の発生に必要な「バー状へき開」から始まる。ダイヤモンド・カッタで電極を付けたウェハ表面にキズをつけて、その裏面から裂くように割り出す。これはレーザの命ともいえる「鏡作り」のための作業であり、重要なプロセスである。このプロセスにおいて、ウェハをバー状に切り、さらにそれを個別のレーザ・チップに切り分けていく（ペレタイズ）。そしてこのレーザ・チップにキャップを付けて外気と遮断し酸化を防止し、パッケージングする。

(4). 測定/評価

最後のプロセスは、検査である。発振や波長、寿命などのレーザの特性の計測を行う。

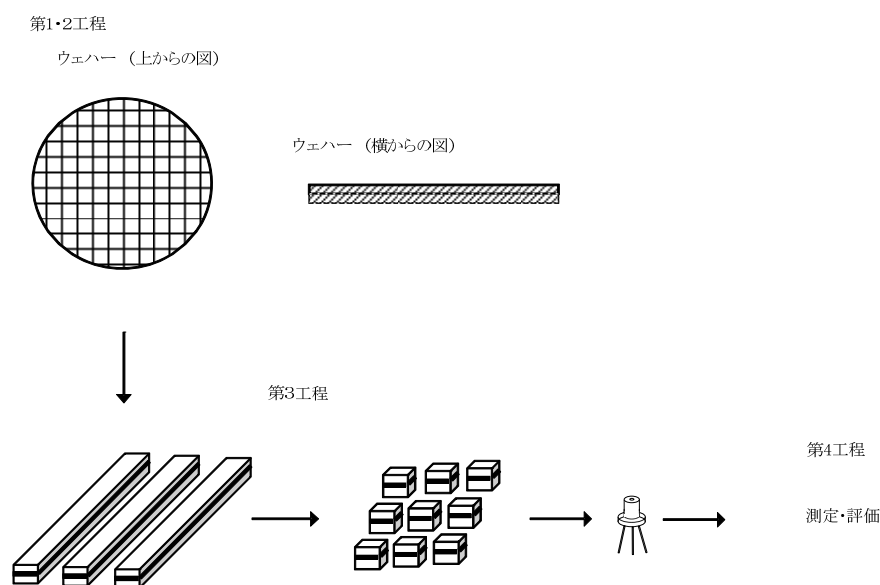
¹⁸ 平田照二 (2001), 114-130 頁.

¹⁹ ダブル・ヘテロ構造 (DH 構造)

²⁰ 応用光エレクトロニクスハンドブック編集委員会編 (1989), 105 頁.

通常は全数の測定評価をおこなう。図 2 は半導体レーザが製造されるまでの 4 つのプロセスを簡単に図示したものである。

図 2：半導体レーザ製造工程



出所：平田照二（2001）『わかる半導体レーザの基礎と応用』CQ 出版社，114-130 頁を参考に筆者作成。

半導体レーザの発光にとって、発光層に用いる半導体のバンドギャップエネルギー²¹が重要な役割を果たしている。バンドギャップエネルギーが大きいほど、波長の短い光が出る²²。半導体の材料が異なれば、そのバンドギャップエネルギーも異なり、その結果、発光されるレーザ光の波長も異なる。波長が違えば、想定されるアプリケーションも異なる。例えば、光通信においては 1.3～1.5 μm の波長のレーザが使われており、その材料は InGaAsP（インジウム・ガリウム・ヒ素・リン）系である。コンパクトディスクに使われている半導体レーザの波長は 0.78 μm であり、AlGaAs（アルミニウム・ガリウム・ヒ素）系の材料が使われていた。さらに、材料が異なれば、エピタキシー技術やデバイスの構造のデザインなど生産技術が大きく異なる。

半導体レーザは現在さまざまな用途で用いられている。コンパクトディスクなどの光記録や光ファイバを使った光通信，バーコードリーダ，プリンタ，医療機器，機械加工，センサー，レーザ核融合など多様である。それぞれの用途に必要な波長や出力などの特性

²¹ バンドギャップ (band gap energy) とは、半導体中の電子が存在できるエネルギー帯間のエネルギーレベルの差をいう。このエネルギー差で発光色（発光波長）が決まる。

²² 半導体材料のバンドギャップエネルギー(Eg)と発光波長の関係は、 $\lambda = 1,240/Eg$ で求められる。

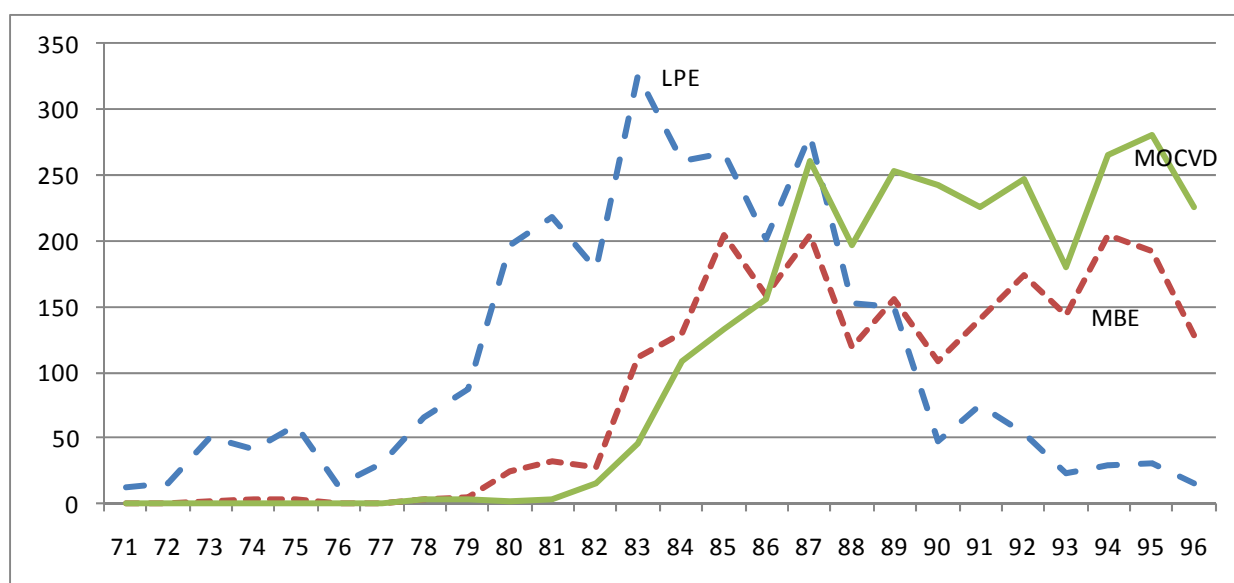
は異なるそれに合わせて、材料の選択や構造のデザイン、結晶成長技術などが開発されている。

3.2 半導体レーザの結晶成長技術の変遷

既に述べたように結晶成長技術は、半導体レーザの生産技術において最も重要なものである。LPE, MBE と MOCVD である。ソニーは、このなかの MOCVD による半導体レーザの開発によって大河内賞を受賞している。

図 3 は、LPE, MBE と MOCVD における、日本の特許出願件数の推移を示したものである。初期の半導体レーザは、LPE を用いて作られていた。その後、1980 年代半ばには MOCVD が研究開発の中心的なテーマとなっていた (図 3)。1980 年代中頃から、MBE と MOCVD の特許出願の件数が増えていることが分かる。これは、CD を初めとした民生用の半導体レーザの市場が広がるにつれて、量産性の高い結晶成長法が求められるようになり、MBE と MOCVD がそれを担うと考えられていたためである。

図 3：半導体レーザの結晶成長技術の出願年次推移



出所：特許庁(1998)「技術分野別特許マップ (電気 10 半導体レーザ)」をもとに筆者作成

3.3 LPE, MBE と MOCVD の技術の概略

ここでは、LPE, MBE と MOCVD の技術の特徴について見てみよう。

(1). LPE (Liquid Phase Epitaxy)

LPE は、成長させる結晶の材料を液体にして、結晶を作る技術である²³。1963 年に RCA

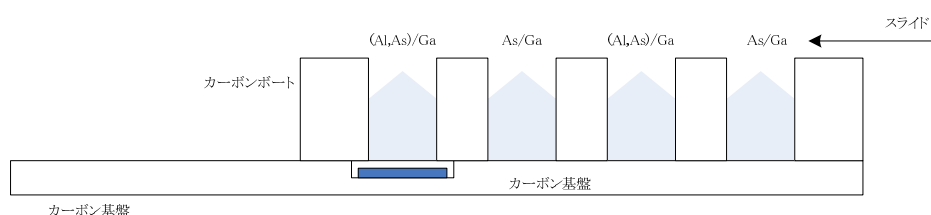
²³ LPE に関しては、神戸宏(2001)、多田邦雄(1986)などを参考にしている。

によって最初に使われた²⁴。まず、600～800℃の Ga 溶液の中に、GaAs や Al など十分に飽和するまで溶かす。この溶液を順次スライドさせ、基板に接触させていく。その中で温度を一定の割合で下げることによって、過飽和状態にすると、基板の上に原料が析出する。

図 4 は、AlGaAs/GaAs の DH 構造のウェハを成長させるための LPE である。

この LPE で用いているのは、比較的簡単な装置であり、最初に半導体レーザが室温連続発振に成功したときに考案されたものである。高純度で、結晶性の良い結晶成長層が容易に得られる。しかし、成長層の厚さや組成は、温度やその加工速度、時間などで制御することになり、豊富なデータと経験が必要となる。言い換えれば、エンジニアの力量に大きく依存する方法といえる。また、温度を空間的に均一に保たなければならないことから、ボートの大きさに制限がある。そのため、できあがるウェアの面積が制限され、量産性の面で問題がある。さらに、LPE では極めて薄い膜を作ることは困難で、膜厚制御性にも問題がある。

図 4 : LPE



出所：神戸宏『はじめての半導体レーザ技術』工業調査会，2001年，96頁。

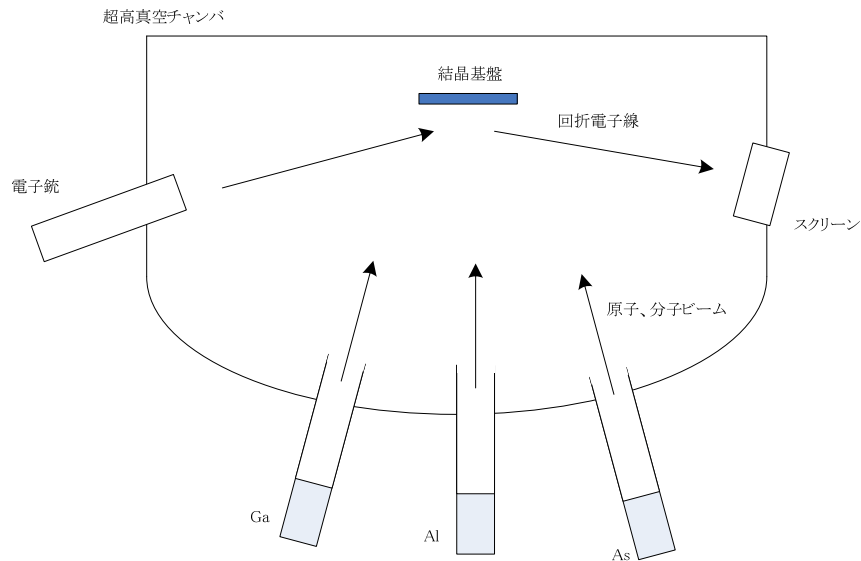
(2). MBE (Molecular Beam Epitaxy)

LPE が材料を液体にする方法であるのに対して、MBE は原料を分子や原子のビームとして飛ばして結晶成長をさせる技術である (図 5)。1975 年にベル研究所のアル・チョウによって開発された²⁵。材料の元素をそれぞれの蒸発るつぼで蒸発させて、分子または原子のビームとして超高真空炉 ($10^{-8} \sim 10^{-7}$ Pa) の結晶基板に射出させる。材料は基板の上で会合し、結晶化する。コンピュータでモニタしながらシャッターを用いてビームを開閉でき、原料の供給量を精密に制御できる。また、真空中であり、電子線を使うことができるので、電子線回折という手法で、成長を進めながら結晶を直接観測できる。これらの特長から、MBE では成長の過程や組成、膜厚を原子層単位で制御することが可能となる。しかしながら、成長の速度はそれほど速くないため、量産性の面で問題がある。

²⁴ Herbert Nelson (1963).

²⁵ MBE の開発については、Patrick W. Mccray, “MBE Deserves a Place in the History Books” Nature Nanotechnology, Vol.2 May, pp259-261, 2007 が詳しい。

図 5 : MBE



出所：神戸宏『はじめての半導体レーザ技術』工業調査会，2001年，99頁．

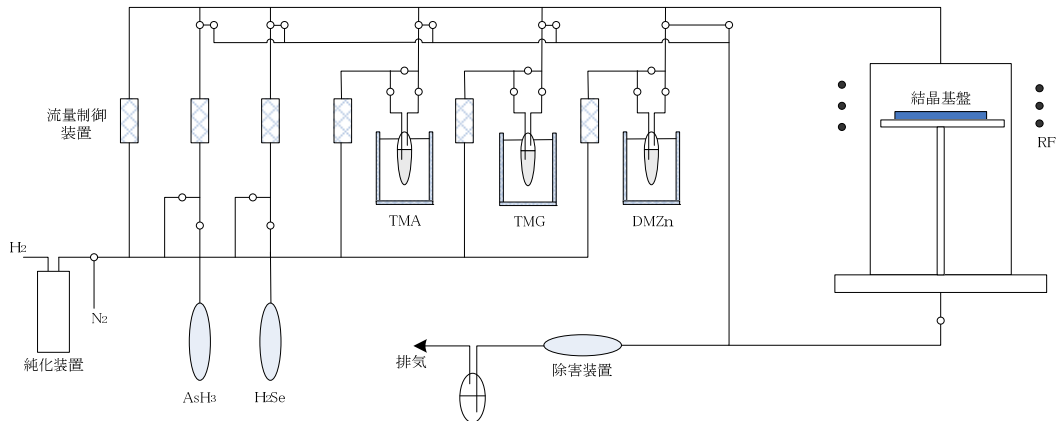
(3). MOCVD (Metal Organic Chemical Vapour Deposition)

MOCVD は，材料を気体にして結晶成長を行う技術であり，VPE の 1 つである (図 6)．1977 年にロックウェル社のラッセル・デュプイらによって開発された²⁶．VPE の中でも，トリメチルガリウム (TMG; $(\text{CH}_3)_3\text{Ga}$) やトリエチルガリウム (TEG; $(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{Ga}$) などの有機金属ガスを使うことが特長である．通常液体である有機金属材料であり，その液体の中に水素をバブリングさせることで，その原料蒸気は水素をキャリアにして反応室に運ぶ．材料ガスが高温下の結晶基板に付着し，化学反応により結晶成長がなされる．

MOCVD は，大きな基板に厚さや材質の均一性の高い結晶成長を達成することができる．このため LPE や MBE と比べると量産性において優位にある．また，液体を用いる方法と比べると，ガスの流速が早いため，薄い膜厚を作ることもできる．一方で，有毒の有機ガスを用いるため，その取り扱いには注意が必要である．

²⁶ Russell D. Dupuis and Daniel P. Dapkus (1977).

図 6 : MOCVD



出所：平田照二『わかる半導体レーザーの基礎と応用』CQ 出版社，2001 年，118 頁。

LPE は，結晶成長法のなかでは，1960 年代から 1980 年代まで支配的な結晶成長技術であった。しかし LPE は，CD を初めとした半導体レーザーを使った民生用の大量生産を前提としたアプリケーションが多く出てくると，その量産性の悪さや薄膜の制御の難しさから MBE や MOCVD の結晶技術が主流になっていった。

4. CD プレーヤの製品化に向けた半導体レーザーの技術開発競争

ここでは，日本企業の半導体レーザーの開発競争を歴史的に見てみよう。1962 年にアメリカで最初の半導体レーザーが発振してから，日本での研究開発が始まった。日本では，1960 年代に日本電気，日立製作所，三菱電機，東芝などと各大学が半導体レーザーの研究開発を始めた。1962 年にアメリカで発振した半導体レーザーは液体窒素温度での発振だったため，室温で発振するレーザーの研究開発がされていた。

しかしながら，室温連続発振を達成できたところではなかった。室温で発振するレーザーがつくれなければ，アプリケーションは極めて限定される。そのため日本の多くの企業は 1960 年代末には，半導体レーザーの実用化を諦めて研究から撤退したのである。その中断された研究には，半導体レーザーの開発には欠かせない，いくつかの重要な要素技術の開発成果があった。例えば，1969 年に三菱電機の須崎渉氏が AlGaAs でヘテロ構造をつくり LED の効率化に成功していた。LED は原理的には半導体レーザーよりも簡単なものであるが，技術的に共通の点も多い。この研究成果は，のちに半導体レーザーの研究で重要な要素技術となるが，当時の三菱電機は半導体レーザーの研究開発からは撤退したのである。

日本企業が撤退する一方で，アメリカでは研究が進められていた。1970 年には，ベル研究所がついに半導体レーザーの室温連続発振に成功した。これは物理学上大きなニュースであり，日本でも「砂粒ほどのレーザー開発」として取り上げられ，トランジスタが真空管

に置換えられたような大きなインパクトを通信にももたらすであろうと報じられた²⁷。この室温連続発振の達成により、一度撤退していた日本企業は半導体レーザの研究開発を再開したのである。

1970年代の半導体レーザの材質と構造は、GaAlAsのダブルヘテロ構造であった。初期のレーザは連続的に発振したが、マッチの火が消えるように光らなくなる、と表現されるように1分程度で消えてしまった。それを実用化するためには、長寿命化が必須であり、その問題解決に世界の各研究所で研究開発競争が繰り広げられた。当時の半導体レーザのアプリケーションは、光通信であった。そのため、日本電信電話公社や日本電気、富士通といった通信企業が研究の中心であった。

しかし、1970年代中頃からは、電機大手各社は、半導体レーザの民生用への応用を検討し始めた。1970年代に民生用半導体レーザの応用として考えられていたのは、計測用、バーコードリーダ用、光学式ビデオディスク用などのHe-Neガスレーザの代替であった。そして前述のように1970年代の後半になって、画像や音をデジタル信号によって処理するビデオディスクやCDの光源として半導体レーザが注目されるようになった。光通信が社会のインフラストラクチャーや産業用であるのに対して、ビデオディスクやCDは民生用である。そのため、単価は低いものの、市場の規模は圧倒的に大きい。CDは半導体レーザにおける最初のマス・マーケット用のアプリケーションであり、電機大手各社は、この新市場に参入しようと多くの経営資源を投入した。これがCD用半導体レーザの開発競争の始まりである。

4.1 LPEによる技術開発

1970年代の半導体レーザの研究における結晶成長法は、LPEであった。MBEやMOCVDはまだ一切半導体レーザの製造には使われておらず、LPEが唯一の現実的に利用可能な結晶成長法であった。そのため、LPEが他の結晶成長法に比べられることはこの当時はなかった。

当時の研究者が直面していた問題は、ふたつあった。ひとつは寿命の短さの問題であった。当時の基本的な半導体レーザの構造であった利得ガイドレーザ²⁸では閾値²⁹電流が大きく、寿命が短くなってしまうのである。もうひとつはレーザ光の横モード³⁰不安定性と呼ばれる問題であった。単一横モードの発振が難しかったのである。レーザ光は単一モード³¹で

²⁷ 1970年9月1日『朝日新聞』「砂粒ほどのレーザー開発」

²⁸ 利得ガイド (gain guide) : レーザの横モードを整えるために作り込んだストライプ構造の一種である。屈折率ガイド (index guide) と対比される言葉である。

²⁹ 閾値 (しきい値) とは、レーザを駆動させるときにレーザ動作が始まる電流値のことである。この値が低いほど低消費電流レーザといえる。

³⁰ 横モード (transverse mode) とは、レーザ導波路内に閉じ込められている形状をいう。NFP(Near Field Pattern)とほぼ同義語である。端面付近の光スポット形状のことである。半導体レーザの場合、通常縦方向に狭く、横方向に広がった楕円形をしている。

³¹ スペクトル数によって単一モード (シングルモード)、または多モード (マルチモード)

安定的に発振することこそが、レーザ光の特徴であり、単一モード発振できないものは、レーザとしては不完全だと考えられていた。また材料に関する課題は、GaAs系レーザの寿命は短く、長寿命を含む高信頼性³²が実用化には、他の材料を研究する傾向が強くなっていた。

これらの技術的な課題を解決するために、1970年代前半から電機大手各社は、各社独自の半導体レーザの構造を開発していた。例えば日立製作所のBHレーザを始め、三菱電機のTJSレーザ、富士通のBSレーザ、松下電器のTRSレーザ、NECのPCWレーザなどである。当時の電機大手各社の半導体レーザ実用化の目標は、前述のように光通信用であった。民生用の実用化を目標とした研究開発はまだ始まったばかりであった。ソニーは光通信用のデバイスの開発は行っておらず、半導体レーザの研究開発への参入は他社に比べて遅れていた。先行組といわれていたのは、日立製作所、三菱電機、日本電気などの光通信で半導体レーザの研究を先行して行っていた企業である。ここで、いくつかの先行企業の代表的な半導体レーザの技術開発について見てみよう。

4.2 日立製作所のBHレーザとCSPレーザの開発

日立製作所は、光通信をターゲットに半導体レーザの開発を1960年代から開始していた。1960年代に一度研究開発を中断したものの、1970年代に入り再開していた。

1970年代に日立製作所は、Buried Hetero structure(以下、BH)とChannelled Substrate Planar(以下、CSP)の半導体レーザを相次いで発表した。半導体レーザを大容量・長距離光通信システムや各種光情報処理システム用光源として用いるためであった。当時の半導体レーザは活性領域のアスペクト比が大きく、これが横モードの不安定性、閾電流の増大、非対称ビームプロファイル、光出力特性の非直線性等の課題を引き起こし、半導体レーザを実用化するうえで障害となっていた。

日立製作所の中央研究所で研究を進めていた塚田俊久氏と伊藤良一氏はこれらの技術的な問題を解決するために、屈折率もしくは利得導波形の導波路形成を2次元的に行うことの必要性を早くから指摘していた。1973年、塚田氏と伊藤氏は、屈折率導波形の2次元導波路構造を世界で初めて提案し、従来のアスペクト比の大きい断面を有する半導体レーザに代り、埋め込みヘテロ構造³³半導体レーザを実現した³⁴。これがBHレーザであった。これにより安定な単一横モード発振、低電流動作が可能になったのである。BHレーザは、

に分類することができる。

³² 信頼性、寿命とは、レーザ素子寿命のことである。レーザを連続動作させ、レーザがどのような特性変化(劣化)を示す指標である。

³³ 埋め込みヘテロ構造(Buried Hetero structure)とは、屈折率ガイドを実現する構造のひとつである。活性領域を屈折率の低い材料で埋め込んだ構造である。BH構造とも呼ばれる。

³⁴ 1973年に特許出願をしている。また、1974年に以下の論文を発表している。Toshihisa Tsukada「Buried-Heterostructure Injection Lasers」Proc. The 6th Conference on Solid State Devices, Tokyo

半導体レーザの理想形態を世界に先駆けて提案し、実現した研究として、その基礎技術の確立と実用化に大きく貢献した³⁵。

しかし、BHレーザを実用化するためにはまだ課題は残されていた。BHレーザは、導波路を活性層とした半導体レーザで、設計通りに作れば特性は非常に性能が良いものであった。しかしBHレーザは、作るのに手間がかかり、製法上の問題で特性が期待通りにならない場合が多かった。その大きな原因は結晶成長が2回必要なことであった。BHレーザは、活性層などの結晶成長をまず行い、次にストライプ状に加工する。その後もう一度埋め込み層を結晶成長させる。このような手順をとると作業が複雑になり、加工による悪影響があつて2回目の結晶成長で欠陥の多い結晶しかできないような場合が出てくる。特に加工が活性層という素子の最重要部分に関わる影響が大きかったのである。

作業工程を簡素化することが必要であった。加工して結晶成長か、結晶成長した後に加工する、どちらかの作業工程で素子が作れないか開発が進められた。そして1978年、CSPレーザが開発されたのである。CSPレーザは基板に凹みがあり、上の層は平らである。LPEは下地に凹凸があつてもそれを埋めて表面が平らになるように結晶が成長できる特徴をもっている。CSPレーザは、LPEの特性を上手くとらえた構造であった。

4.3 三菱電機のTJSレーザの開発

三菱電機は1960年代から日本の半導体レーザ研究をリードしていた。前述のように1970年のベル研究所における室温連続発振の基礎となる技術を早くから研究していたのは三菱電機の須崎渉氏であった。

1960年代末に一度、半導体レーザ研究を中断していた三菱電機も1970年代に入り半導体レーザの研究開発を再開していた。白幡潔氏、須崎渉氏、浪崎博文氏等を中心として、光通信用半導体レーザの研究開発が活発に行われていた。前述のように光通信や光情報処理用光源として用いるには、それまでの半導体レーザは、ヘテロ接合と平行な方向の横モードが不安定で、しきい電流も高く、実用上の障害となっていた。

1976年、浪崎氏らは、従来のレーザ構造ではヘテロ接合と平行な方向の横モードが電流によって変化しており、この方向にも垂直方向と同様に、なんらかの屈折率導波形の光導波路の形成が必要であることをいち早く洞察し、独自の屈折率導波形光導波路によるTJS(Transverse Junction Stripe)レーザを開発した³⁶。この開発により、世界で初めて基本横モード・単一縦モードの単一モード発振を実現した。さらに結晶成長技術、素子構造の改良により15mA程度の低閾電流を得ると共に、百万時間以上の室温推定寿命を持つ素子を実現した。

³⁵ 1984年、電子通信学会は、塚田俊久氏と伊藤良一氏に業績賞を贈った。

³⁶ 1976年に以下の論文を發表している。H.Namizaki「Single mode operation of GaAs-GaAlAs TJS-laser diodes」Trans. IECE of Japan, vol.E59, pp.8-15

この技術は、単一モード半導体レーザの実現という点において大きな貢献があった³⁷。従来型の半導体レーザの横モード不安定性改善の必要が認識されるにつれて注目され、その後、各種の屈折率導波型単一モードレーザが提案された。単一モード発振レーザは、光出力の直進性に優れている。この研究成果は、光通信分野での応用を前提としながらも、微小スポットへの安定的な集光性によって光情報処理分野への適用が可能となった。

4.4 シャープの VSIS レーザ

シャープ、半導体レーザの研究開発を 1960 年代初頭から行っていたが、ディスプレイの実現を目指したものであった。シャープはソニーと同様に、光通信用の半導体レーザは開発していなかったため、日本電気や日立製作所、三菱電機などと比べると半導体レーザの研究開発という面では後発であった。

シャープでは、中央研究所の第一研究部で化合物半導体材料と発光デバイスの開発が行われており、光通信をターゲットにして研究開発を始めていた他社に比べて少人数（7 人程度）で CD の技術開発に取り組んだ。各社は前述のように、単一モード発振、長寿命化を達成するために独自構造のレーザを競って開発していた。日立製作所の CSP レーザ、三菱電機の TJS レーザなど電機大手各社がさまざまな構造の半導体レーザを発表するなか、約 1 年遅れてシャープは VSIS (V-channelled Substrate Inner Stripe) 構造と呼ばれる半導体レーザを発表した。

上述のように日立製作所や三菱電機によって、単一横モード発振、長寿命化は徐々に達成されつつあった。しかしながら、それらのレーザはレーザースポットが不安定で歩留まりにも問題があった。そこでシャープは早川利郎氏と山本三郎氏を中心に、独自の P 型 GaAs 基盤の V 溝上に電流と光の分布が自己整合する内部ストライプを有する半導体レーザを開発したのである。これが VSIS レーザである。

VSIS レーザは従来の半導体レーザに比べて作成プロセスの簡略化を実現した³⁸。シャープは、大量生産を意識して工程短縮を考案したが、研究の段階でも、この点は大きな利点となった。試作を繰り返すときに結晶成長の翌日にはレーザ特性の試作結果が分かったのである。そのため試作結果を早急に次の結晶成長にフィードバックすることができた。

シャープは半導体レーザのデバイスが完成した後、ソニーにサンプルを提供した。当時は、ほとんどの開発メーカーがソニーに売り込みに行っていた。ソニーからの評価では、ライバル他社から提供されたデバイスのなかで、デバイスの特性と量産化の可能性でシャープの VSIS レーザが一番高かったという³⁹。そして、1982 年にソニーから発売された CD プレーヤにはシャープの VSIS レーザが採用されたのである。その後、シャープは、ソニ

³⁷ 1981 年、白幡潔氏、須崎渉氏、浪崎博文氏に電子情報通信学会から業績賞が贈られた。

³⁸ 素子形成プロセスにおけるマスクアライメントや拡散プロセスがなく電極形成のみで完成する。

³⁹ 山本三郎 (2009) ,片山忠則 (2009)

一に年間数 100 万個以上を納入することになった。当時の半導体レーザは液晶が中心のディスプレイ事業部の中で生産されていた。その事業部では大変な苦労があったという⁴⁰。量産中に、原因不明の歩留まり低下が発生したこともあった。これらの問題も事業部の努力で解決され、1982 年 10 月に各社から CD プレーヤが一斉に発売された時、ほとんどの CD プレーヤに VSIS レーザが搭載されていた⁴¹。

5. ソニーにおける半導体レーザの技術開発

ソニーは、1982 年の CD の製品化に向けて、CD の業界標準の獲得と同時に CD プレーヤを自社技術で製品開発することを目標としていた。長年にわたり通信用アプリケーションの技術開発を行っていた日立製作所、三菱電機や日本電気などに比べると、民生用アプリケーションの技術開発から半導体レーザの研究に取り組んだソニーは、半導体レーザの研究では後発といえる。そのソニーが、CD の業界標準を獲得し、それに合わせた技術開発をどのように進めたのか詳しく見てみよう。

5.1 ソニーの半導体レーザ研究の幕開け

ソニーにおける化合物半導体の研究は、1960 年に中央研究所が設立された当初から行われていた。研究所では、ZnSe、ZnTe の研究や GaAs を用いたトンネルダイオード⁴²の研究開発が行われた。その後、1963 年に GaAs 半導体レーザの液体窒素温度での発振に成功し、デバイス開発を目的とした研究が始まった。しかしながら、半導体レーザの室温連続発振は難しく、日立製作所や三菱電機などが半導体レーザの研究から一時撤退する中で、ソニーも半導体レーザから LED へと研究目標を変更していった。その頃、アメリカを中心に III-V 族化合物の GaP などを用いた LED に関する基礎研究の成果が発表された。その成果を受けて、デバイス開発には、伝導型、伝導度制御が可能である III-V 化合物のもつ優位性が重要であるという認識が研究者の間で広がり、研究の主体は III-V 化合物半導体となった。1970 年代初め、ソニーは独自の高品質な結晶成長法として合成溶質拡散法 (SSD: Synthesis Solute Diffusion) の開発に成功した。この結晶成長法は、成長機構、不純物ドーピング⁴³、

⁴⁰ 山本三郎 (2009)

⁴¹ 1983 年には、業界初となる半導体レーザを用いたレーザディスク・プレーヤ (パイオニア社製) にも採用された。

⁴² 1957 年に江崎玲於奈氏が発明した、量子トンネル効果を利用した素子。順方向に電流を流すと、トンネル効果により、ある電圧領域では電圧をかけるほどに流れる電流量が少なくなるという「負性抵抗」が現れる。これを用いた発振回路や増幅器は従来のトランジスタをはるかにしのぐ優れた性能を発揮する。1973 年、江崎氏にはその功績に対して、Ivar Giaever 氏、Brian D. Josephson 氏とともにノーベル物理学賞が授与された。

⁴³ ドーピング (doping) とは、半導体に極性を持たせるために不純物を混入させる操作のことである。GaAs の場合は p 型は Zn や Mg をドーピングする。n 型は、Se や Si をドーピングする。

p-n 接合⁴⁴，発光特性などを明らかにした。ソニーは，半導体レーザの研究では後発と言われながらも，半導体レーザの基礎となるような化合物半導体の研究において着実に成果を出していた。

1979年，ソニーはフィリップスと CD の共同開発を開始した。CD の光源としては半導体レーザを使うことを決めた。それはトップの意志決定であった。ソニーはこの CD に関する研究で，中央研究所と事業部の共同チームを中央研究所につくった。この研究のやり方は，CD の開発の前に，CCD の開発で行った体制であった。中央研究所の技術を量産化する厚木（事業部）へスムーズに移管するためには，事業部の研究者が中央研究所に行き，そこで技術を学び，そのうえで事業部の観点から改良していくやり方であった。量産化体制へと移行する段階になると，厚木の事業部にチームごと移ることで，量産化をスムーズに行うことを想定した体制であった。

5.2 ソニーの EBH レーザとシャープの VSIS レーザの開発

ソニーは，1982年に自社製の CD を市場に投入することが目標であり，その重要な要素技術であった半導体レーザの開発を急いだ。1970年代後半においても各社の結晶成長法は LPE であった。そのため，ソニーも LPE を用いて半導体レーザの開発の競争に入っていた。

5.2.1 ソニーの EBH レーザ

1980年はじめ，ソニーは LPE を用いて EBH（Etched Buried Hetero）レーザと呼ばれる独自の半導体レーザを開発した。EBH レーザは，優れた光学系との良好なカップリング⁴⁵，低消費電力等に利点があった。一方で，量産性という観点からは EBH 構造は，1980年当時，特性の再現性，制御性，生産性，信頼性等の観点から十分に確立していなかった。

しかし，研究開発を進めていけばこれらの問題はいずれ解決されるであろうという経験則のもと，ソニーの研究者たちは EBH レーザの開発を進めていった。1980年に半導体レーザの開発の主体は研究所から事業部に移管された。事業部は早速厚木工場では事業化に向けた開発に取り組んだ。移管後の最初の半導体レーザの発振は研究者の予想以上に早く実現した。当時の厚木工場にはバーンイン装置⁴⁶がなく，レーザを中央研究所まで運搬し，バーンインテストを行った。この結果も，比較的安定しており，研究者の間では何とか事業化まで行くのではないかという感触を得たという。

⁴⁴ p-n 接合（p-n junction）とは，p 型（+型）半導体と n 型（-型）半導体を接合させた構造である。ダイオード構造とも呼ばれ，整流，受光や発光に使われる。

⁴⁵ 半導体レーザからの光束を極めて微小な光スポットに集光させることをいう。

⁴⁶ バーンイン装置とは，半導体デバイス等に一定の負荷をかけてテストする装置のことである。熱をかけた状態で半導体製品を動作させることによって良品・不良品のボーダーライン付近にある製品を強制的に不良品とし，完全な良品のみを短時間で得ようとするものである。

しかしながら、1982年にCDプレーヤを製品化するためには時間がなかった。事業部は、光ディスク事業部へのサンプル出荷、事業部内での長期信頼性試験も早急に開始する必要があった。しかし光ディスク事業部へのサンプル出荷は遅れ、信頼性試験では予測不可能な突発的な故障が発生するなど、開発は困難な状況に直面した。そして、前述のようにシャープのVSISレーザが1981年に開発⁴⁷されたのである。

5.2.2 シャープのVSISレーザの開発成功

VSISレーザは最も後発であるが、信頼性を含めた総合的な特性に優れており、ソニーを含む他社のレーザを圧倒していた。他社レーザが信頼性試験でどんどん故障していくなか、シャープのVSISレーザは故障しないばかりか、ほとんど劣化の兆候をみせなかった。当時のソニーの事業部でVSISレーザの評価を行った眞峯氏は、このシャープのVSISレーザを目の当たりにして「衝撃的ですらあった」と表現している。このシャープのVSISレーザの開発成功がソニーのCD用半導体レーザの開発に大きな影響を与えた。

そしてソニーは、それまで開発していたEBHレーザを1982年に発売される予定であったCDプレーヤに搭載することを断念した。1982年に発売されるCDプレーヤにはシャープのVSISレーザが採用されることになったのである。

ソニーは最初のCDプレーヤに自社製の半導体レーザを搭載することは断念したものの、半導体レーザは、CDシステムの重要な基幹技術であったことから、早急に自社の半導体レーザを開発し、自社製CDプレーヤに搭載されたVSISレーザの置き換えを狙った。しかしながら、ソニーのEBHレーザの開発は、暗礁に乗り上げていた。また事業部がEBHレーザを開発している間、中央研究所では新しい結晶成長法であるMOCVDを使った半導体レーザの開発も進めていた。そのMOCVDを用いて作成されたレーザの信頼性結果が予想以上に優れているデータが出始めた。

ソニーは、シャープのVSISレーザよりも総合的な特性に優れ、VSISレーザより量産化に適したデバイスを早急に開発する必要があった。EBHレーザはLPEを用いて生産するレーザであった。しかしながら、同じくLPEを用いたシャープのVSISレーザと比較すると、性能で劣っていた。また、LPEは量産化に適さないのではないかとという疑念があり、将来のCDの需要が拡大したときにそれは大きな問題になるのではないかと考えられるようになってきた。これらの要因が、ソニーがLPEによるEBHレーザ開発を継続するかどうか、ソニーの研究関係者に決断を迫った。

5.3 MOCVDによる半導体レーザの発振に世界初の成功

ソニー中央研究所でのMOCVDによる半導体レーザの研究開発は、1973年にGaAsPとGaInPとの組み合わせで始まっていた。しかし研究結果は芳しくなかったため、途中からAlGaAs系へと変更した。中央研究所でMOCVDの研究開発を担当していた森芳文氏は、

⁴⁷ 公開特許出願した年を開発年としている。

AlGaAsに変更して3ヶ月後(1979年末から1980年にかけて)、波長870nmのみならず、760nmの半導体レーザの室温連続発振に世界で初めて成功した。MOCVD技術の向上を背景に、AlGaAs系レーザの信頼性試験を経て、LPEによるレーザよりもむしろ高い信頼性を確保し、しかも量産性に優れていることを実証したのは世界的な快挙として、一躍ソニーのMOCVDを世界にアピールすることになった。

1979年12月、LPEによるCD用半導体レーザの開発は中央研究所から事業部に移管した。1981年、事業部の研究部部長の矢木氏はLPEの開発を中止し、MOCVDを用いたレーザの開発を進めることを決断した。

しかし、当時のMOCVDは研究レベルでは非常優れた成果が出ていたが、MOCVDで量産化するデバイス開発は、まだ先行き不透明であった。また他社では、どこもまだMOCVDによる半導体レーザでデバイス開発に成功しているところではなかった。

この決断以降、事業部と中央研究所が一体となって、MOCVDによる半導体レーザの開発を進めた。中央研究所では、MOCVDの特徴をいかした平坦な結晶構造にプロトンを打ち込み、その結晶欠陥⁴⁸によって結晶が半絶縁的になる性質を利用して形成された非電流注入層を有する利得ガイド型レーザを試作品として作り、事業部へと持ち込んだ⁴⁹。しかしながら、MOCVDによって半導体レーザを開発することはそれほど簡単ではなかった。このレーザを評価すると、双峰的ビームによる光学系とのカップリングの悪さと、非点隔差⁵⁰量の大きさが問題となって、採用不可と決まった。

5.4 CD用半導体レーザの要素技術の開発

中央研究所が開発したサンプルも量産化には不適合となり、中央研究所ではデバイス構造について具体的な案がなくなっていた。そのため、厚木工場の事業部の研究に一任する形となった。事業部では、課長や係長が積極的に研究メンバーからアイデアを募っていた。

5.4.1 中央研究所のMOCVDの開発

中央研究所は、結晶成長法であるMOCVDの開発を担当した。まず中央研究所は、

⁴⁸ 結晶欠陥とは、結晶格子を構成する原子の配列の乱れのことである。形状により点欠陥、線欠陥、面欠陥、体積欠陥がある。非発光原因や劣化因子となる。

⁴⁹ 屈折率ガイド型レーザと利得ガイド型レーザの双方の利点と欠点は簡単に説明すると、次のようになる。屈折率ガイド型の利点は、低消費電力、光学系との良好なカップリング、小さな非点隔差である。逆に欠点は、ディスクからの戻り光や温度変化等の外的擾乱に対して不安定な雑音特性があった。一方利得ガイド型の利点は、外的擾乱に対して雑音特性が安定する。その欠点は、消費電力が大きくビーム形状が双峰的でレンズとのカップリングに劣り、非点隔差が大きいことである。

⁵⁰ 非点隔差(astigmatism)とは、半導体レーザは下図に示すように接合部に垂直な方向と水平な方向とでみかけ上の焦点位置が異なる。この2つの焦点間の距離を非点隔差と呼び、値が小さい程光ビームの集束性がよいということになる。本ケースでは、半導体レーザの仮想的な光源位置の差異を非点隔差としている。

MOCVD 装置の見直しを行った。それまでの中央研究所の MOCVD 装置はスウェーヂロック⁵¹接続のため、微小リークが頻発して安定した結晶成長が得られなかった。そのため、結晶成長条件の設定ができなかった。この装置の見直しは、装置全体にわたるさまざまな配慮を必要とするものであった⁵²。中央研究所では実験を繰り返し、生産に必要な MOCVD 装置の操作や管理上のノウハウを蓄積していった。そのなかで最も重要であったのは、空気中の酸素や水分の混入をできるだけ押さえるために、MOCVD 装置の気密性を上げることであった。配管にはステンレスの溶接配管をできるだけ用い、ガスの流量を制御するコントローラーにも高い気密保障ができるものに更新していった。そして改良された MOCVD 装置をもとに、厚木の事業部によって結晶成長条件が決定した。この MOCVD 装置が量産機として用いられることになった。

5.4.2 事業部の TAPS レーザの開発

事業部は、レーザ構造として、活性層厚が最適化したテーパーストライプの開発を行った。1982 年、事業部ではいくつかのアイデアの中からテーパ型導波路構造を持つ利得ガイド (TAPS : Tapered Stripe) レーザの開発を推進する方針を決定した。このレーザを発案したのは事業部の眞峯氏であった。眞峯氏は、CD 用半導体レーザの開発に 1980 年から取り組んでいた。眞峯氏は、事業部で研究所から送られてくるデバイスのサンプル特性を評価しながらレーザの知識を蓄積していた。そして蓄積された知識を新たな研究に活用していた⁵³。

この TAPS レーザも、眞峯氏による、それまでの知識と発想を具現化したものである。開発の発端は、非点隔差が小さいということが出射されるビームサイズが端面⁵⁴で最小であるとすれば、ビーム形状の最小となる位置を人為的に端面部とするテーパ型導波路が非点隔差の低減に有効に作用するのではないか、という直感が働いたという。物理的には、テーパ型波導路の導入によって端面でのビームサイズと共振器中を伝搬する電磁波の波面を独立に制御できれば、非点隔差を制御する新たなパラメータ⁵⁵が得られるのではないかと

⁵¹ スウェーヂロック社 (本社アメリカ) は、高品質の流体システム製品の設計および製造を行っている。世界的に広く用いられている継ぎ手の手法 (製品) であり、社名がそのまま継ぎ手の手法 (製品) として用いられることがある。

⁵² 森芳文 (1984)。

⁵³ 例えば、利得ガイドレーザの実用化に大きく貢献した活性層の薄膜化によるビーム形状と発散角の制御の知見も眞峯氏の研究成果であった。その研究の発端は、中央研究所から送られてくるさまざまなレーザの特性評価にあった。特性を評価していると、活性層の厚みが薄い場合は、接合に水平方向のビーム形状が単峰性を示すことに気付いたという。その後、中央研究所に協力してもらい、活性層の厚みが異なったサンプルを作成し、この関係を証明した。しかしその当時では、その効果については社内でも議論が分かれていた。

⁵⁴ 端面 (facet) とは、半導体レーザの重要な要素のひとつである。へき開で作ったミラー面のことである。光のフィードバックを生じさせ、レーザ発振を起こすために必要となる。

⁵⁵ パラメータ (parameter) は、線幅増大係数ともいう。半導体レーザのスペクトル線幅を決定する係数である。

ということであった。この TAPS レーザについての開発の最初の報告書を眞峯氏は 1982 年 7 月にまとめている。TAPS レーザの特徴は、次のようになる。①閾値電流密度は広いストライプが寄与して下がり、微分効率⁵⁶は上がる。②放射光パターン (FFP) が単峰になる。③狭い端面開口のため、非点隔差が改善される。

5.4.3 本社のパッケージ開発

本社ディスク開発部では利得ガイドレーザの非点隔差を外部の光学部品で簡便に補正しようと研究を行っていた。半導体レーザは接合に垂直方向と平行方向とで見かけ上の焦点が異なる。垂直方向では端面に一致し、平行方向では端面より奥へ入り込んだところに焦点が存在する。この 2 焦点間に非点隔差が存在する。この非点隔差を有するレーザ光源を開口数 (NA) ⁵⁷の大きいレンズで結合させた場合、波面収差が大きくなり、大きな信号変動が得られなくなる、という問題を引き起こす。その補正の仕組みは、斜め板ガラスを光軸に一定の角度を保って挿入すれば、非点収差⁵⁸が修正できるであろうというものであった。これは解析と実証研究の両面から明らかになり、CD プレーヤ用の半導体レーザのパッケージのキャップに斜め板ガラスを取り付けたソニー独自のパッケージが完成した。

5.4.4 CD 用半導体レーザの開発体制

ソニーの開発体制の役割分担は明確であった⁵⁹。中央研究所は、結晶成長法である MOCVD の開発を行った。事業部は、レーザ構造として、活性層厚が最適化したテーパーストライプの開発を行った。本社ディスク開発部は、斜めガラスによる非点収差補整技術を開発した。このように CD 用半導体レーザの開発は、各部門による同時並行的な研究開発が成功したことは特筆すべきことである。またそれぞれの組織は、明確な分担が決まっているが、開発チームのメンバーは中央研究所と事業部の間をフレキシブルに動いていた。また、CD の開発はトップマネジメントの強いイニシアティブがあった。特に当時の副社長であった大賀氏は、フィリップスとの交渉当初から積極的に関与し、CD の技術開発にはかなりの思い入れがあったという。ソニーの CD 用半導体レーザの開発は、このように中央研究所、事業部、本社ディスク開発部の連携により、実用化に向けた要素技術の開発が完

⁵⁶ 半導体レーザに流す電流 (順電流) を少しずつ流してゆくと、レーザは少しずつ光っていく。初めのうちはレーザ光ではなく、LED の光が出てくる。しかしある所で急に光出力が大きくなり、レーザ発振を開始する。このレーザ発振が始まる電流を発振開始電流という。この値を超えた後の電流に対する出力の変化は極めて急激となる。この電流に対する出力の変化率を微分効率という。

⁵⁷ 開口数 (Numerical Aperture) とは、レンズが光を取り込む程度を表す定数である。大きいほど明るく、焦点距離の短いレンズである。

⁵⁸ 本ケースにおける非点収差とは、レンズを含むピックアップ等の仮想的光源位置の差異を指している。

⁵⁹ 半導体レーザの研究開発と事業化における組織の役割分担に関しては、Samuel C. Wood and Gary S. Brown (1998) が詳しい。

了した。

5.5 MOCVD による半導体レーザの量産化

MOCVD の結晶技術の開発，新たなレーザ構造である TAPS レーザの開発，パッケージとしての非点収差補整技術の開発によって，実用化に向けた要素技術の開発は完了した。あとは，量産化への社内の意思決定を待つのみであった。1983 年 5 月，半導体事業本部の化合物半導体の事業部長である渡辺氏は，米山氏，眞峯氏ほかの事業本部のメンバーと一緒に渡部尚三副所長，森芳文氏ほかの研究所のメンバーと横浜で会議を行った。会議の目的は，MOCVD による半導体レーザの量産化の方針を決めるためであった。この会議で，翌年の MOCVD による半導体レーザの量産化が決定されたのである。事業部長の渡辺氏は，過去に一回のよい実験結果を根拠に，MOCVD による GaAlAs 半導体レーザの量産化決断に「まさに足の震えるような瞬間」であったとしながらも，国分工場に当時の予想をはるかに超える 10 万/月の量産投資を決定した⁶⁰。

1983 年，ソニーは厚木工場に MOCVD 装置を設置し，量産化体制に移行した。その後 1984 年 12 月に厚木での開発を終了し，生産技術開発部と共に国分工場に量産ラインを展開した。国分工場に量産ラインを展開してから，初出荷となった 1985 年 2 月までは，決して順調な生産状況ではなかった。それは，組み立て，測定，エージング⁶¹等の一貫した歩留まりが 10%以下というロットが多発した。当時の国分工場から一日に出荷する数は，一度不良品（計測不能）となり，再計測して合格したのちに再出荷する数よりも少なかったという。つまり一回で出荷検査に合格する数は極めて少なかったということである。事業部や生産現場ではその原因解明に必死に取り組んだ⁶²。その歩留まり低下の主たる要因は，チップを圧着する工程に問題があった。それがショートの原因になり，ビーム形状が不良となっていたことを解明した。その問題を解決するためにチップの圧着のやり方を変更した。既存の実装条件で設計された装置に変更を加えた。新しい組立方式による一貫歩留まりは，なんとか 50%を超えるロットも出るようになった。この頃にやっと国分工場の担当者の中で，半導体レーザの量産化ができるのではないかという期待と自信が出るようになったという。難航を極めた半導体レーザの量産に目処が立ち始めたのは，1985 年の中頃であった。

1985 年後半には，自社製の半導体レーザが量産化され，自社製の CD プレーヤに組み込まれた。そしてソニーは，日本電気や日立製作所などのセットメーカーにも半導体レーザ

⁶⁰ この当時，CD プレーヤの次期モデル（D-50）の商品化の時期と重なっていたことも影響していた。

⁶¹ 同じように作った素子でも，半導体結晶中に欠陥が含まれたり，プロセス中にダメージが入る場合がある。このような信頼性の観点から弱い素子を選別する信頼性試験のことをいう。

⁶² CD 用半導体レーザの量産化には化合物半導体事業部と研究所が強硬に推進した経緯がある。量産化決定に際し，本社経営企画が「コスト競争をして何になる」と反対したにもかかわらず，化合物半導体事業部と研究所は「将来 FET など信号処理にも使える技術」として投資を決定したのである。

を外販できる生産能力をもつようになったのである。

ソニーの半導体レーザを支えるコア技術は MOCVD による結晶成長と高精度自動組み立て技術である。MOCVD による結晶成長法については、開発投資を続け、新材料に合わせた結晶成長炉を自社で設計し、その技術やノウハウは事業部の中に蓄積している。そのノウハウは設備設計だけではなく、装置オペレーションやメンテナンスにまで及んでいる。MOCVD 結晶成長炉については、専門メーカーも現れているが、その製品を購入しても半導体レーザの量産には至らなかった。それほど量産化は技術的に難しく、量産化を可能にする装置は繊細なのである。表 1 は、MOCVD 法により商品化がなされた主なデバイスを表したものである。CD 用の半導体レーザを初めとして、多くのデバイスに使われていることが分かる。

表 1：MOCVD 法により生産している化合物半導体デバイス

デバイス	主な用途	代表モデル	主な特徴・特性
CD 用レーザ	CD プレーヤ	SLD104UA	780nm 5mW 5.6φ 小型パッケージ
高出力レーザ	光磁気ディスク	SLD203AV	780nm 35mW 屈折率ガイドレーザ
	医療用 産業用	SLD201V-3	780nm 50mW 利得ガイドレーザ
超高出力レーザ	固体レーザ励起 加工・医療	SLD304XT	1000mW TE クーラーを組み込んだ特殊パッケージ
可視光レーザ	バーコードリーダ ポインター	SLD151V	670nm 5mW AlGaInP 系
HEMT	衛星放送受信	SGH5612	NF0.9dB(12GHz) T 型ゲート

出所：『大河内賞受賞業績報告書 平成元年度（第 36 回）』，111 頁。

6. まとめ

ソニーにとって、CD システムの開発は、ソニーグループの資源をうまく使った例と言える。そして本ケースでは、そのソニーの CD システムのハードウェアの中心的技術である「MOCVD 法による化合物半導体デバイスの開発と量産化」についてみてきた。

技術開発において、各社の中央研究所と事業部の連携の仕方はさまざまである。本ケースのソニーの場合は、中央研究所と事業部が一体となって開発チームを編成した。しかし中央研究所と事業部の研究開発の分担は明確に分けていた。それでも、両部門での問題の

共有はもちろんのこと、積極的に垣根を越えた問題解決への取組が多かった。短期間で半導体レーザの開発を行い、CDプレーヤの製品化を目標に研究開発が進んだ。ソニーは、半導体レーザの開発において決して先行企業ではなかったが、半導体レーザの開発目標は極めて具体的であり、トップの大きな意志決定の下で行われたものであった。半導体レーザの開発においては、1982年の最初のCDプレーヤの発売にシャープ製を搭載するなど、結果的には技術水準と開発期限で遅れを取った。しかしソニーは、CDプレーヤの半導体レーザは自社製のものを搭載する目標を諦めず、開発に成功したのである。

参考文献

- Herbert Nelson (1963) “Epitaxial Growth from the Liquid State and its Application to the Fabrication of Tunneling laser Diodes”, RCA Review, No.24, pp.603-615.
- Hiroshi Shimizu (2011) “Different Evolutionary Paths: Technological Development of Laser Diodes in the U.S. and Japan: 1960-2000”, Business History (Forthcoming)
- Patrick W. Mccray (2007) “MBE Deserves a Place in the History Books” Nature Nanotechnology, Vol.2 May, pp259-261,
- Russell D. Dupuis and Daniel P. Dapkus (1977) “Room Temperature Operation of Ga(1-x)AlxAs/GaAs Double Heterostructure Lasers Grown by Metalorganic Chemical Vapor Deposition, Applied Physics Letters, Vol.31. p.466,
- Samuel C. Wood and Gary S. Brown (1998) “Commercializing Nascent Technology: The Case of Laser Diodes at Sony” J PROD INNOV MANAG, 1998;15:167-183.
- ソニー株式会社広報センター編 (1996) 『源流：ソニー創立 50 周年記念誌』ソニー広報センター.
- 安藤幸司 (2003) 『光と光の記録』産業開発機構株式会社, 194 頁.
- 応用物理学会光学懇話会編 (1986) 『オプトエレクトロニクス-材料と加工技術』朝倉書店, 144-172 頁.
- 山本三郎 (2009) 「半導体レーザ誕生秘話」『シャープ技報』 第 99 号.
- 神戸宏 (2001) 『はじめての半導体レーザ技術』工業調査会.
- 栖原敏明 (1998) 『半導体レーザの基礎』共立出版.
- 多田邦雄(1986) 「光デバイス用半導体材料」応用物理学会光学懇話会編『オプトエレクトロニクス-材料と加工技術』朝倉書店, 44-172 頁.
- 大園恵美 (1999) 「システム間競争とシステム内競争ーソニーの CD システムの市場導入と開発」嶋口充輝・竹内弘高・片平秀貴・石井淳蔵『製品開発革新』有斐閣, 214-240 頁.
- 中島平太郎・小川博司 (1996) 『図解コンパクトディスク読本 (改訂 3 版)』オーム社, 13 頁.
- 特許庁 (1998) 「技術分野別特許マップ (電気 10 半導体レーザ)」.
- 平田照二 (2001) 『わかる半導体レーザの基礎と応用』CQ 出版社.
- 片山忠則 (2009) 「半導体レーザ開発物語」『シャープ技報』 第 99 号.
- 矢野経済研究所 (1984) 『拡大するレーザー産業の市場実態と今後の需要展望』矢野経済研究所.
- 眞峯隆義「MOCVD 法による化合物半導体デバイスの開発と量産化」, GCOE 大河内賞ケース研究プロジェクト第 4 回講演会資料, 2009 年 3 月 5 日.
- 森芳文(1984) 「MOCVD 成膜技術」『電気化学および工業物理化学』第 52 巻第 7 号, 407-411 頁.

IIIR ケース・スタディ 一覧表／2004-2010

NO.	著者	タイトル	発行年月
CASE#04-01	坂本雅明	「東芝のニッケル水素二次電池開発」	2003年2月
CASE#04-02	高梨千賀子	「富士電機リテイルシステムズ(1): 自動販売機—自動販売機業界での成功要因」	2004年3月
CASE#04-03	高梨千賀子	「富士電機リテイルシステムズ(2): 自動販売機—新たなる課題への挑戦」	2004年3月
CASE#04-04	高梨千賀子	「富士電機リテイルシステムズ(3): 自動販売機—飲料自販機ビジネスの実態」	2004年3月
CASE#04-05	伊東幸子 青島矢一	「ハウス食品: 玉葱催涙因子合成酵素の発見と研究成果の事業化」	2004年3月
CASE#04-06	青島矢一	「オリンパス光学工業: デジタルカメラの事業化プロセスと業績V字回復への改革」	2004年3月
CASE#04-07	堀川裕司	「東レ・ダウコーニング・シリコン: 半導体パッケージング用フィルム状シリコン接着剤の開発」	2004年3月
CASE#04-08	田路則子	「日本開閉器工業: モノづくりから市場創造へ「インテリジェントスイッチ」」	2004年3月
CASE#04-09	高永才	「京セラ: 温度補償水晶発振器市場における競争優位」	2004年3月
CASE#04-10	坂本雅明	「二次電池業界: 有望市場をめぐる三洋、松下、東芝、ソニーの争い」	2004年3月
CASE#04-11	三木朋乃	「前田建設工業: バルコニー手摺一体型ソーラー利用集合住宅換気空調システムの商品化」	2004年3月
CASE#04-12	尹諒重 武石彰	「東洋製罐: タルク缶の開発」	2004年3月
CASE#04-13	藤原雅俊 武石彰	「花王: 酵素入りコンパクト洗剤「アタック」の開発」	2004年10月
CASE#04-14	軽部大 井森美穂	「オリンパス: 超音波内視鏡の構想・開発・事業化」	2004年10月
CASE#04-15	軽部大 小林敦	「三菱電機: ポキポキモータ 新型鉄心構造と高速高密度巻線による高性能モーター製造法の開発」	2004年11月

CASE#05-01	青島矢一 宮本圭介	「テルモ(1): 組織風土の改革プロセス」	2005年2月
CASE#05-02	青島矢一 宮本圭介	「テルモ(2): カテーテル事業の躍進と今後の課題」	2005年2月
CASE#05-03	青島矢一 河西壮夫	「東レ(1): 東レ炭素繊維複合材料“トレカ”の技術開発」	2005年2月
CASE#05-04	青島矢一 河西壮夫	「東レ(2): 東レ炭素繊維複合材料“トレカ”の事業戦略」	2005年2月
CASE#05-05	兒玉公一郎	「ヤマハ(1): 電子音源に関する技術蓄積」	2005年2月
CASE#05-06	兒玉公一郎	「ヤマハ(2): 携帯電話着信メロディ・ビジネスの技術開発、ビジネスモデル構築」	2005年2月
CASE#05-07	坂本雅明	「二次電池業界(改訂): 技術変革期における新規企業と既存企業の攻防」	2005年2月
CASE#05-08	高永才	「京セラ(改訂): 温度補償水晶発振器市場における競争優位」	2005年2月
CASE#05-10	坂本雅明	「東北パイオニア: 有機ELの開発と事業化」	2005年3月
CASE#05-11	名藤大樹	「ハイビジョンプラズマディスプレイの実用化 プラズマディスプレイ開発協議会の活動を中心に」	2005年7月
CASE#05-12	武石彰 金山維史 水野達哉	「セイコーエプソン: 自動巻きクォーツ・ウォッチの開発」	2005年7月
CASE#05-13	北澤謙 井上匡史 青島矢一	「トレセンティテクノロジーズによる新半導体生産システムの開発 —300mm ウェハ対応新半導体生産システムの開発と実用化—」	2005年10月
CASE#06-01	武石彰 高永才 古川健一 神津英明	「松下電子工業・電子総合研究所: 移動体通信端末用 GaAs パワーモジュールの開発」	2006年3月
CASE#06-02	平野創 軽部大	「川崎製鉄・川鉄マシナリー・山九: 革新的な大型高炉改修技術による超短期改修の実現 大ブロックリング工法の開発」	2006年8月

CASE#07-01	武石彰 宮原諄二 三木朋乃	「富士写真フイルム： デジタル式 X 線画像診断システムの開発」	2007 年 7 月
CASE#07-02	青島矢一 鈴木修	「ソニー： フェリカ(A)：事業の立ち上げと技術課題の克服」	2007 年 7 月
CASE#07-03	青島矢一 鈴木修	「ソニー： フェリカ(B)：事業モデルの開発」	2007 年 7 月
CASE#07-04	武石彰 伊藤誠悟	「東芝： 自動車エンジン制御用マイコンの開発」	2007 年 8 月
CASE#07-05	青島矢一 朱晋偉 吳淑儀	「無錫小天鵝株式会社： 中国家電企業の成長と落とし穴」	2007 年 8 月
CASE#07-06	青島矢一	「日立製作所： LSI オンチップ配線直接形成システムの開発」	2007 年 9 月
CASE#07-07	坂本雅明	「NEC： 大容量 DRAM 用 HSG-Si キャパシタの開発と実用化」	2007 年 9 月
CASE#08-01	小阪玄次郎 武石彰	「TDK： 積層セラミックコンデンサの開発」	2008 年 1 月
CASE#08-02	福島英史	「東京電力・日本ガイシ： 電力貯蔵用ナトリウム—硫黄電池の開発と事業化」	2008 年 3 月
CASE#08-03	青島矢一 北村真琴	「セイコーエプソン： 高精細インクジェット・プリンタの開発」	2008 年 5 月
CASE#08-04	高梨千賀子 武石彰 神津英明	「NEC： 砒化ガリウム電界効果トランジスタの開発」	2008 年 9 月
CASE#08-05	小阪玄次郎 武石彰	「伊勢電子工業： 蛍光表示管の開発・事業化」	2008 年 9 月
CASE#09-02	青島矢一 大倉健	「荏原製作所： 内部循環型流動層技術の開発」	2009 年 6 月

CASE#09-03	藤原雅俊 積田淳史	「木村鑄造所： IT を基軸とした革新的フルモールド鑄造システムの開発」	2009 年 7 月
CASE#10-01	工藤悟志 清水洋	「東芝： 0.6 μ m 帯可視光半導体レーザの開発」	2010 年 1 月
CASE#10-02	山口裕之	「東レ： 非感光ポリイミド法に基づくカラーフィルターの事業化と事業転換」	2010 年 3 月
CASE#10-03	三木朋乃 積田淳史 青島矢一	「NHK 放送技術研究所・NHK エンジニアリングサービス・日本ビクター株式会社： 話速変換技術を搭載したラジオ・テレビの開発」	2010 年 4 月
CASE#10-04	青島矢一 高永才 久保田達也	「日本電気： 最先端 LSI 量産を可能にした ArF レジスト材料の開発」	2010 年 5 月
CASE#10-05	青島矢一 大久保いづみ	「新日本製鐵： コークス炉炭化室診断・補修技術」	2010 年 7 月
CASE#10-06	久保田達也 青島矢一	「横河電機： 高速共焦点顕微鏡の開発と事業化プロセス」	2010 年 7 月
CASE#10-07	工藤秀雄 延岡健太郎	「パナソニック： IH 調理器の開発」	2010 年 7 月
CASE#10-08	今井裕介 岩崎慶 宰務正 鈴木裕一郎 山田将知	「株式会社高井製作所の組織改革」	2010 年 7 月
CASE#10-09	工藤悟志 清水洋	「ソニー： MOCVD 法による化合物半導体デバイスの開発と量産化」	2010 年 8 月