

# 次世代光通信用半導体デバイスの製品化・量産化のための複合的専門分野に関する研修報告

高度ポリテクセンター 西出 和広  
 (高度職業能力開発促進センター)

## 1. 概要

### 1.1 はじめに

近年、高度情報化技術の進展に伴い、世界規模での競争力の激化、製品ライフサイクルの短縮など製造業を取り巻く企業活動の変化は、従来強みとしていたコストダウンや品質向上に加え、新技術導入による製品の高付加価値化や新規事業への迅速な適応を含めた製品開発力や事業化力が重要になってきている。しかし、大学・研究所などの研究機関で行われている基礎研究（シーズ）の開発成果が、ビジネスを展開する企業・産業界で実用化できずに（資金供給が底をついてしまい）日の目をみない技術が多々ある。これを死の谷現象と呼んでいる。図1に概要を示す。基礎研究では、採算を度外視しても発明・開発をして試作品を作れば、新規性があるとい

うことで学会・論文などで成果を公表できる。ただ、製品を製造する現場では、いつでも同じ品質のものを安価に製造しなければならないため、技術の橋渡しができず、また想定外の問題などもあるため、技術が死んでしまう大きな溝（谷）がある。この橋渡しのために必要な製品化・実用化研究は、欧米に比べ日本は遅れているといわれ、技術者も不足している。実用化へのシステム作りおよび技術者の育成が急務の課題となっている。

### 1.2 プロジェクトの概要

東京大学先端科学技術研究センター（以下、東大先端研）中野研究室TBIグループでは、「光インターコネクションビジネス戦略プロジェクト」として大学発ベンチャー設立に向けた光通信用半導体デバイスの開発および製品化に向けた事業を実施している。TBI（Technology Business Incubation）とは、大学が進めている産学連携の一環で、大学で研究・開発されている成果を産業界に還元するプロジェクトである。大学としても、大学発ベンチャーを設立することで、従来の研究室ではできない、資金、人材（外部人材の確保）、研究環境（デバイス製造ラインの構築）が実現できるメリットがある。

本グループのプロジェクトは、独自の考え方で光通信用半導体デバイスを開発・製品化し、ベンチャーを設立することで研究室のもつ技術を産業界に技術移転をする。図2にTBIプロジェクトの位置づけを示す。

東京大学本体からは資金・オフィスの提供を受け、

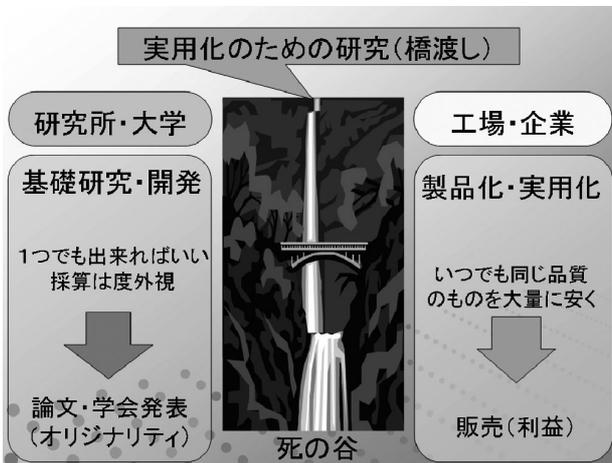


図1 死の谷現象の概要

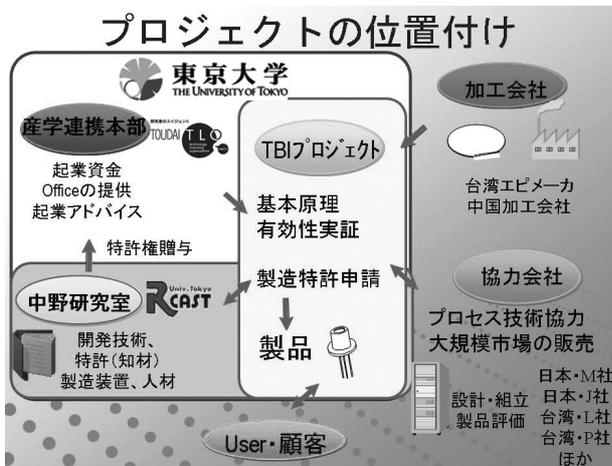


図2 TBIプロジェクトの位置づけ

中野研究室の光通信デバイス製造装置を利用し、製品開発を行う。また、中野研究室やTBIグループが保有している技術特許と、新たに申請している特許を融合して製品に取り入れる。大学外では、国内の協力会社と製造装置開発や製品技術で協力関係を結んでいる。開発技術のノウハウを提供するかわりに装置の組立、設計をしてもらい市場にはない高精度の装置を調達する。台湾、中国などの国外メーカから多くの材料（特にウエハーなど）の提供をうけ、国内調達よりも安価に材料を調達できている。コアとなるもの以外の多くの工程を外注することで、グループで多くの設備を持つことなく（設備投資費・保守費・償却費が必要ない）、生産ができる。その結果、コストを抑えること以外にも、景気動向に左右されやすい半導体デバイス市場に対応して、フレキシブルに生産を調整できるメリットがある。

### 1.3 本研修の目的

本研修では、東大先端研中野研究室において、情報通信の基盤技術となる光通信デバイスのベンチャー設立に向けた、光インターコネクションビジネス戦略プロジェクト（通信用半導体レーザの開発および製品化に向けた事業）に参加をすることで、機構としての今後の能力開発の拡大および創業支援につながる情報収集と関連分野の技術を習得する。以下に目的を列挙する。

- ① 光インターコネクション技術分野における技術習得を通じ、能力開発要素の抽出と訓練カリ

キュラムの開発

- ② ベンチャー創業における事業化プロセスに係る能力開発要素の調査分析と人材育成プログラムの企画開発
- ③ 量産化・製品化に向けた、製造技術および製造管理技術に係る能力開発要素の抽出とカリキュラム開発
- ④ 本研修における東京大学との産学連携や事業化企業との協調を通じて今後の人材育成プログラム実施等で協力関係の構築

①および②の内容として、研修中に取り組んだ業務から光インターコネクション分野およびベンチャー創業における能力開発要素を抽出し、生涯能力開発体系を作成した。③の内容として製品化に向けたプロセスを会得するため、実際にデバイス製造で利用する製造標準を作成した。④の内容として今後の連携方針を東京大学と確認し、その手始めとして光デバイス製造装置を東京大学と連携して製作した。また、全体として会得した技術により能力開発セミナーの訓練カリキュラムなどのプログラムを作成した。

この研修で作成したプログラムは光通信デバイスに対しての事業化プロセスではあるが、その他あらゆる製造物に対して汎用できるものであると考える。

## 2. 光通信デバイスの概要

### 2.1 光通信の概要

光通信技術は、電気通信では難しいGbps以上の通信に急速に普及し始めている。2001年から2003年にかけてのいわゆるITバブルの影響でマイナス成長をしたが2004年以降はバブル崩壊前の水準に戻り、年率10%程度の成長率が見込まれている<sup>1)</sup>。現在は、FTTH (Fiber To The Home) と呼ばれるインターネット回線から各家庭までの配線が通信会社の後押しもあり、とりわけ進んでいるところである。今後、企業内LANや家庭の家電同士を結ぶ、伝送距離が最大500m程度のローカル通信、より短い範囲としてパソコン同士やパソコンインターフェイス、情報家電同士の接続する市場の成長が期待されている。

また、パソコンの中にあるケーブルやプリント基板上に走っている電気信号についても高速化に伴う問題（電気ノイズや伝送線路など）があり、電子回路設計が行き詰まる予想がある。その代わりに光通信を使ったボード間・ボード内配線について日本企業を中心に世界規格を設定する動きなどがでてきている。光ボード配線は配線同士を接続する際に、光軸を合わせる必要があるため、接続コネクタが電気のように簡単にはいかない問題があるが、企業・大学などで普及に向けた研究が進められている。

## 2.2 光通信デバイスについての市場動向

90年代、光通信デバイスは大企業メーカー各社で設備投資を増やしたが、2001年のITバブルの崩壊で売上は大きく後退し、多大の償却費を抱えている状況である。開発費用が乏しくなっていて新しい設計や材料などを用いた新製品も、少なくとも年間数億円の売上規模が見込めないといけないため、ここ数年新製品の投入が少ない。特に、光インター接続市場に対しては、顧客が少数の機器・システムメーカーに限られ、新製品を投入しても顧客が増えないと判断したと考える。

## 2.3 製品ターゲット

図3にプロジェクトの製品のコンセプトを示す。上記の光通信のカテゴリーのうち、伸びると思われるローカルネットワークのLANや家庭内ネットワーク、規格がまた設定されていないパソコンと周辺機器

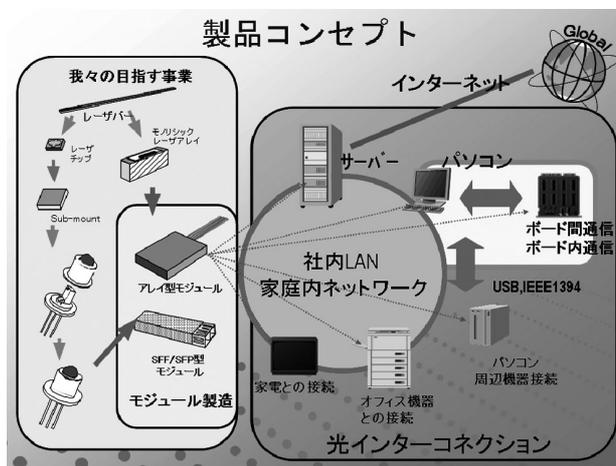


図3 TBIグループの製品コンセプト

器接続、ボード間通信に利用する光デバイスの供給を目指している。特に発光素子であるレーザーダイオードと受光素子であるフォトダイオードを1つのパッケージにした送受信可能なモジュール生産を考えており、現存製品との区別を考え4chから16ch並列させるアレイ型に力を入れようとしている。現在、このアレイモジュールは現存する製品が少なく、寡占状態にある。

以下に、製品の概要を示す。

### ① フォトダイオード (PD)

フォトダイオードは、光に反応すると電流を流す受光素子である。素子の動的性能として少量の光で反応し、応答速度が速いことが求められる。開発しているフォトダイオードは裏面入射型で、InP（インジウム燐）ウエハの裏面から光を入射させ、ウエハ表面の電極から電流を出力する方式である。デバイスの反応速度を速くするにはキャパシタンス成分を少なくする必要があるため、P型のウエハを使用した場合、不純物を入れるN型領域を小さく、また電流を流す電極も小さくすることが求められる。

### ② レーザダイオード (LD)

レーザダイオードはデバイスに電流を流すとレーザ光を出射する発光素子である。開発するデバイスは、今まで研究室内で研究されてきた技術を継承し、それに新たな特許技術を追加する。基本特許は特許事務所を通して16年8月に特許を申請した。新しい技術を追加することで、より高速なスイッチングを実現でき、レーザ駆動に必要な外部回路の一部の機能をなくすることができるため、モジュールを小型化できる特徴をもつ。

半導体デバイス製造では、さまざまな原因で正常動作をしない不良がでてしまう。良品率の歩留まりが製品単価や営業収益に大きく影響する。例えば1chのモジュールを作る場合にレーザとフォトダイオードどちらも歩留まりが80%（100個作ったら80個正常に動く）とすると正常動作同士のレーザとフォトダイオードを使うことで、モジュールの歩留まりも80%になる。ただ、私たちが目指すアレイモジュール

ルは、生産するとなると4chであれば連続した4つのすべてのレーザ・フォトダイオードが正常動作しなければならないので80%の4乗の約41%の製品歩留まりになる。2個作っても1個良品ができるかわからない。このように、デバイスのアレイ化は難しく、製品歩留まり向上がデバイス開発を事業化するうえで非常に重要である。

### 3. 研修成果

#### 3.1 プロジェクトの能力開発要素の分析

人材育成プログラムの企画開発を行うため、プロジェクトの業務で経験・知識をもとに、光インターコネクション技術分野および大学発ベンチャー創業に関する能力開発要素の抽出を行い、生涯能力開発体系の作成を行った。

プロジェクトの生涯能力開発体系を表1に示す。また、個々の体系作成の概要を図4に示す。プロジェクトの体系は、プロジェクトの業務内容を抽出し、大学発ベンチャーを設立したと仮定して作成した。また、会社社員（社長、研究開発員、ワーカー、経理の計7名）の体系を、会社の体系をもとに作成した。この結果から、光通信・半導体デバイス・ベンチャー設立などの訓練ニーズを明らかにし、カリキュラ

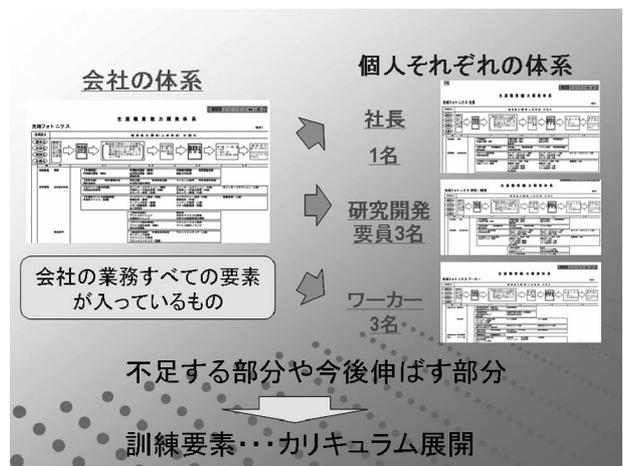


図4 プロジェクトの能力開発体系

ムの展開を図る。

作成したプロジェクトの体系は、①光通信用デバイスを製造する半導体デバイス製造業、②外注を多用してラインを極力もたない、③東大先端研の大学発ベンチャーなどの特徴を持つ。この内容を体系に盛り込む必要があった。特にデバイス製造で一番のネックである歩留まりや製品寿命のための対策、デバイス材料発注のための特別な知識、ベンチャーキャピタルを活用するための交渉法・目標設定法・管理会計、製品開発のための標準作業行程確立技術などに重点を置いた。

#### 3.2 量産化・製品化に向けた製造標準作成

製品化・実用化研究は、現在多くの企業で課題とされており、このシステム作りおよび技能者の育成が急務の課題となっている。本プロジェクトでは、製品化のために、開発テクニックやノウハウなどの技術を研究開発員から生産するワーカーに伝達する必要がある。

本研修では、量産化・製品化に向けた製造技術および製造管理技術に係る能力開発要素の抽出を行うために、TBIグループで製品化に向けて開発を行っているフォトダイオードの製造標準を作成した。作製した製造標準は以下のとおり。図5に製造標準の仕様例を示す。

##### ① 標準レシピ大分類（1枚）～中分類（8枚）

プロセスの流れと大まかな工程の内容を示すもの。装置に与えるパラメータなども記述する。

表1 プロジェクトの生涯能力開発体系

部門(大分類)	中分類
知的財産	市場調査
研究開発	技術設計原理 製品試作 製造標準 研究開発管理
装置利用技術	装置利用技術
環境・安全衛生	環境保全 安全衛生
設備保全	製造装置設備保全
製品付加技術	電子回路技術 製造治具加工技術
製造	デバイス製造 前工程 後工程
生産管理	原価管理 購買管理 品質管理 検査
技術管理	外注管理 工程管理 設備管理 作業管理
営業	営業活動 営業管理
経理	管理会計 税務財務 原価計算
経営	経営 総務 広報

## PD（フォトダイオード）の製造標準の作成

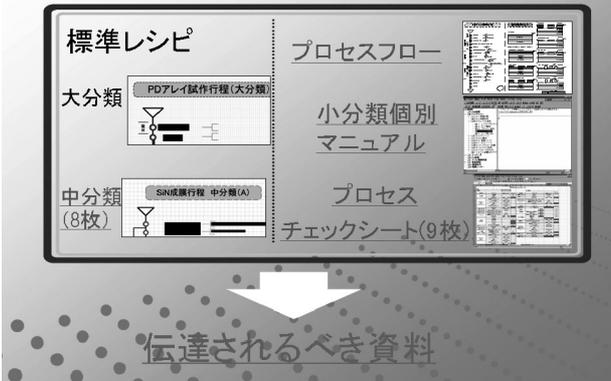


図5 製造標準仕様例

- ② プロセスフロー（1枚）  
プロセスごとの断面構造の変化を順番に書く
- ③ 小分類個別マニュアル  
中分類のプロセス行うのに必要な装置の操作手順のマニュアルとノウハウを書き込む
- ④ プロセスチェックシート（9枚）  
中分類ごとに1枚のプロセスをチェックするシート。作業を行う際には1サンプルごとに用意し工程・品質・生産管理を行う。

製造標準作成に使用したソフトは、当初ワープロソフトであったが、情報漏洩の可能性があるため、生産現場では、パソコン画面を見ながら作業を行うことが求められているため、シェアウェアソフトを利用することにした。今後、本プロジェクトではこの製造標準を利用して、試験製造を行うことになる。

製造標準を作成したことで（一部、研修を通して）、光デバイス製造の特徴がみえてきた。

- ① 光デバイス製造の場合、Si（シリコン）などの他のデバイス製造に比べて、つながりやつきあい少なく、他メーカーや外部に対して閉鎖的な面を多く持っていることがわかった。企業ノウハウとする部分が多く、デバイス構造や作り方がわかれば真似できる場合が多いためである。特許情報を渡さないために特許を取らずに社内でのノウハウをブラックボックスにする方法が多くとられている。
- ② 光デバイスの場合、Siのように大口径ウエハ

ーを大量に流すことはない。ウエハの特性や製品の性質などもあり、2～3インチの基板を1ロットで数枚程度流すことになる。機械化しにくく、現在も自動化されていない部分が多くある。そのため、光デバイス製造は“半導体農業”と揶揄されている。人のテクニックに依存する部分が多く、大手メーカーでもワーカーの技能がものをいうため、歩留まりをコントロールしにくい。

- ③ 製造者のテクニックに依存し、手に与える力加減など形式化や数値化しにくい部分が多く、暗黙知で成り立っている部分が多い。また、製造するには環境に慣れることが必要で、他でプロセス経験がある人でもすぐに製造の対応はできない。オーダーで依頼した製造装置や自作の装置などが多く一般化していないため、内部に精通している人に聞かなければわからない部分が数多くある。

### 3.3 製造装置（ダイボンダ）の製作

大学発ベンチャー技術支援の一環として高度ポリテクセンターが光デバイス装置の開発協力を行った。

ダイボンディングは、半導体レーザ（LD）完成の1つ前の行程で、チップを乗せたサブマウントを与えたステム上に接着する行程をいう。ダイボンディングの概要を図6に示す。接着するサブマウントは3mm角程度の小さいものであるため、精密作業ができるように双眼実体顕微鏡を見ながらピンセットを使って作業を行う。精度よく接着するには装置の操作性がよくなければならない。デバイス生産の中で前工程のプロセスに比べると困難ではないが、サブマウントを接着する方向はレーザ光の出射方向であるため、正確なボンディングが必要となる。

ダイボンダ装置は多くの機械メーカーから販売されているが、その大多数が全自動もしくは半自動化されている。そのため、価格を抑え、使い勝手を考えたマニュアル操作のダイボンダを製作することにした。装置仕様をTBIグループの池田健志氏から提供いただき、高度ポリテクセンターで試作加工することとした。図7に銅板に水冷パイプを接続する、ろ

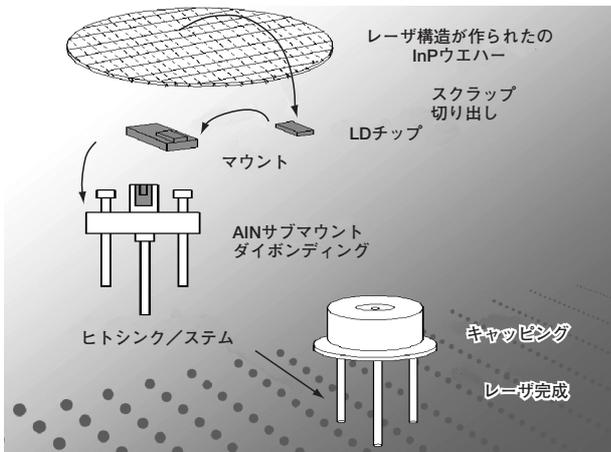


図6 ダイボンディング行程の概要



図7 ろう付け加工風景

う付け加工風景を示す。装置部品の加工，組み立てが終わり，装置の基本性能が得られることを確認した。今後，デバイスの酸化を防ぐフォーミングガスを装置内に流せるようにし，また安全装置をつけるなどの改良を施したいと考えている。

#### 4. 今後の取り組み

今後の取り組みとしてセミナーへの展開，人材・技術面の協力などを考えている。以下に列挙する。

##### 4.1 セミナーへの展開

上記の取り組みをし，能力開発体系を作成した結果，製品開発やベンチャー設立の問題となる仕事の洗い出しを行い，訓練カリキュラムを作成した。作成したカリキュラム題名は以下のとおり。

- ① サンプル試作段階からの製品化技術

- ② 半導体デバイス製造装置の設計技術
- ③ 半導体デバイス製造技術者の心得
- ④ 光通信の概要とその利用デバイス

今後，東京大学先端研およびTBIプロジェクトの協力をもとにカリキュラムを軸に訓練展開を図り，またプログラム改定を行うつもりである。

#### 4.2 その他

東大先端研中野研究室と高度ポリテクセンターでは今後も連携してダイボンダのような製造装置や治具の設計・加工，光通信技術の研究成果普及のための人材・技術面について相互の協力体制を確保する。

#### 5. 謝辞

東京大学先端科学技術研究センター情報デバイス分野 中野義昭教授には長期にわたりこのような研修の機会を与えていただきましたことに深謝申し上げますとともに，日ごろから技術面・精神面でご教授いただきました池田健志博士，宋学良博士，王書榮博士，ほか中野研究室の皆さまに厚く御礼申し上げます。

また，このような研修の機会を設けてくださいました機構本部研修担当室の皆さま，JUKI株式会社総合企画部長鈴木孝廣氏，高度職業能力開発促進センター前所長小林辰磁氏に感謝申し上げます。なお，ダイボンダ作製の際には，高度職業能力開発促進センター素材生産システム系村上智広助教授および宮下英明助教授にはご協力いただきました。まことにありがとうございました。

#### <参考文献>

- 1) 『光産業の動向』，光産業技術振興協会，平成17年5月