第100回研究記念講演

光 応 用 技 術 の 将 来 と 産 業

植 之 原 道 行

Future of Laser Application Technology and Optoelectronics Industry

Michiyuki UENOHARA*

司会（柏木）電総研の柏木でございます。先ほど光でコンピューターはできないと言われて、私、電子計算機部長というのをやらされて、じゃあもう光をあてにしないできょうは帰ろうかと思ったんですが、（笑）植之原先生から「光応用技術の将来と産業」というお話をいただくことになっております。予稿にも書いてございますように、植之原さんは、本日は特に通信の情報処理——日本電気はC&C（コンピューター・アンド・コミュニケーション）を標榜しているわけでございまして、その面への応用において期待される大産業として発展するために解決しなければいけない課題について、ユーザーである会社の立場から問題を提示するという、聞くだけで大変恐ろしい話が飛び出すんじゃないかという期待をしているわけでございます。

植之原さんに関しましては、私をご紹介するまでもなく、大変有名な方でございまして、レーザーの研究、開発当初から積極的にレーザーの育成に寄与されてきた方であることは、皆さんご存じのとおりでございます。

なお、植之原さんは昭和32年からベル研究所に入社されまして、昭和42年、日本電気に入社されるまでベル研究所で、先ほど西沢先生からご紹介のありましたガン発振その他で大変すぐれた研究業績を残された方でいらっしゃいます。

昭和42年に日本電気にお入りになって、昭和47年には中央研究所の所長をおやりになり、現在では57年から専務取締役という大変お忙しい要職にあるわけでございます。

私、かねがね大変お世話になっているわけでございまして、特に植之原さんの国際感覚にすぐれたセンスをお持ちでいらっしゃる点は、私ども、大変歓迎するところでございます。国際的な視野も大変広くお持ちの植之原さんから、ユーザーである大衆の立場からの大きなご要求が出てくるんだろうと思います。皆さん期待してお聞きいただきたいと思います。

ではよろしく願いいたします。

植之原 日本電気の植之原でございます。ただいま過分な紹介をいただきまして、私が大衆の立場から問題を提起するといえますのは、西沢先生のように学問的な立場からは問題が提起できませんので、大衆の立場から問題を提示すれば大体間違いない。その中から新しい技術課題を見出して解決していただくのは若い皆さんだということ、裏に含まれているわけでございます。ですから、恐い問題提起をするわけではございません。

きょうは光応用技術の将来と光産業の将来ということで、非常に夢多い光エレクトロニクス

* 日本電気株式会社（〒108 東京都港区芝5-33-1）

* NEC Corporation. (5-33-1, Shiba, Minato-ku, Tokyo 108)

（昭和59年8月9日、大阪ガーデンパレスにおける講演）

関係の技術についてのお話を申し上げたいと思っていますわけでございます。

レーザーが1960年前後に次々に発明されました、そのときに世紀の大発明だと言われました。これは人類がその長い歴史の中で初めてコヒアレントな光を手にすることができたという意味で、私も世紀の大発明になるという点に対しては、何ら疑問をはさまなかったわけでございます。しかし産業界におきましては、それほどの大発明であるならばすぐ大事業につながるはずだということで、大変大きな期待をかけられて、そのうちに研究開発に従事している人は道楽息子とさんざんいじめ抜かれて、非常に苦しい60年代の10年間を過ごしたと思います。

人類がコヒアレントな電波を手に入れたのは、20世紀に入ってすぐのときでございます。それがラジオ放送として実用化の幕を切って落されましたのが大体1920年代に入ってからで、ほぼ20年かかっているわけです。それとほぼ時を同じくして、テレビジョンの研究開発がスタートを切っておりますが、白黒のテレビの実用放送が始まったのが1940年代に入ってからでございます。さらに20年かかっているわけです。レーザーが発明されてから、今日、約4分の1世紀を過ごしておりますが、すでに光産業という言葉が広く世の中で使われておりますし、かなり確実に大きく発展していくであろうことは誰も疑問をはさまないところまでこの25年の間に発展してきたということは、やはり世紀の大発明であったことには間違いなかったということを実証していると思います。

レーザーの応用は、レーザーの発明以来、まずは光通信ということで大変いろいろなところで大きな研究がスタートを切りました。それから精密計測、特殊レーザー加工関係、衣料、ホログラム芸術、あるいは光情報処理、そして研究用のいろいろなツールとして広範な応用が研究開発されてきたわけです。実用化が早かったレーザーデバイスといたしましてはガスレーザー、固体レーザーがありますが、これらは大型真空管並みに非常に大型である。高電圧を必要

とすると、非常に運用の面で難しい面があったということで、専門家のツールとしてはいろいろ使われてまいりましたけれども、やはり大衆化するには非常に大きな問題を抱えていた。現在でも大衆化という面では問題を抱えていることには間違いないと思います。しかし、もちろんガスレーザーにしる固体レーザーにしる、それだけでなくはならない応用というものは、頑として存在しているわけです。半導体レーザーの研究開発、実用化が大きく進んだとしても、いろいろなレーザーがいろんな応用に活用されていくことは間違いないことであると思います。しかし、応用への道のりの中で、産業として、事業として、大きな事業に育つまでには非常に苦しい道であったということも事実です。

現在、マイクロエレクトロニクス革命ということで、情報化社会に向かってどういう技術の特徴を備えていかなければならないかという面から、いろいろ提示がされておりますが、その中の一つに、大衆にわかりやすい言葉として軽薄短小という言葉があります。半導体技術の主流は、この軽薄短小の特徴を生かすように技術がとうとうと進歩しているわけです。そういう面では、半導体レーザーというものは、レーザーの中でも軽薄短小の方向に沿っているものです。

しかし、現在の半導体レーザーは、まだトランジスター時代の初期の段階に過ぎないと私は思っております。トランジスターの時代では、かなり連続な周波数の発生、増幅が可能でございましたけれども、レーザーではまだまだディスクリートと言っても言い過ぎでないぐらいに、ある限られた波長の範囲で飛び飛びにきりできておらないし、まだ短波長の方でも可視光の領域に伸ばそうとしますと、大変皆苦勞をしております。また長波長の面でも、半導体といたしましてはただか1.6ミクロンで、やはり10ミクロン、さらにさっき西沢先生から問題提示がありましたように、レーザーと電波のデバイスの間のギャップを埋める、いわゆる広い赤外の領域を埋めるには、何らまだ解決策を持たないと

Fig.1 主なイベント

いう実情にあります。

そういう意味で、レーザを初期のディスクリットなトランジスタの時代に対比しますならば、その中でもまだ技術は非常に未熟である。残された課題は山積していると言って過言ではないと思います。さらに光エレクトロニクス産業が大きく発展していくには、光デバイスの技術が大きく発展しなくてはならない。それに必要な材料技術が大きく発展しなくてはならない。その光応用の面から考えて、基礎である材料デバイス技術が大きく発展することなしには、光応用技術の発展も非常に限られてくるわけであり。そういう意味におきまして、応用という立場から見ても、やはり基礎技術が大きく日本で羽ばたいてもらわなければならないわけです。

Fig. 1にレーザの発明の初期からレーザ応用が本当に実用になるという自信がついたところまでの主なイベントを書いてあります。光通信という面から考えますと、1970年にダブル・ヘテロの半導体レーザで室温の連続発振が実現された。それとほぼ同じくして光ファイバーの伝送損失が20デシベルの厚い壁を破った。この

2つの大きな技術的な障害として、光通信の分野で60年代に掲げられていた障壁の突破口が同時にできたということは、これまたレーザが非常にすぐれたものである、あるいは将来大変大きく羽ばたくものであるという運命を背負って生まれてきたものであると言えるぐらい、非常に素姓のよさを示した一つの例であると思います。

光産業技術振興協会におきまして、将来ビジョン委員会でいろいろ将来のビジョンの調査研究をいたしておりますが、そこで光産業はどういうふうな規模に成長していくんだろうかということを予測した例をFig. 2に示してあります。1980年の日本の光産業の生産規模が大体800億強です。それがこの予測によりますと、85年で9,000億円、90年で2兆円強、2000年には約12兆円の規模に急成長するという予測が出ているわけであり。この12兆円という規模は、81年の日本の全エレクトロニクス産業の生産規模が11兆円強でございますから、2000年までには現在のエレクトロニクス全産業の規模になるであろうという予測を出しているわけであり。恐らく皆さん、そんな大きなものに光エレクト

Fig. 2 光産業規模の推移 () 内は構成比

ロニクスという分野でなるのか、まゆつばの感を持たれると思います。これが非常に夢多き委員会の総意でほぼまとまった予測です。

もちろん予測というものは、当たるも八卦当たらぬも八卦でありまして、誰もこれが確実に実現するということを言える者はございませんけれども、その気になってみんなが頑張れば案外なるというものが、また予測でもあります。ですから、夢多き予測は私は常にいろんなところで話すことにしております。みんながその気になれば、大抵なるものであります。努力すればただのすばらしい素姓をこの光エレクトロニクス技術は持っているということから、私はそういう確信に近いものを持っているわけでございます。90年にはほぼ2兆円の規模になると

言っておりますが、これは大体现在の原子力産業以上の規模です。

私どもがどういう分野で技術革新が生まれていくであろうかということをいろいろ考える場合に、どの辺に種を求めるべきかということで、もっとFig. 3よりも細かいものを見ているわけですが、ここではわかりやすく出しております。エレクトロニクスの分野に非常に強力な援軍が出てきましたのが、レーザーの発明でございました。今言いました原子力が40年代から出ておりまして、原子力発電が50年代に出ておりますが、これが一生懸命国策として、各国が研究開発を進めてきて、現在、日本では2兆円足らずの規模です。それに比べますと、あとから小さなデバイスを種にして、新しい産業として立ち

Fig. 3 中核技術の変遷

上がり始めた光産業が、90年にはほぼその規模になるというぐらい、非常に立ち上がりが速いものです。

81年の光産業の実績が1,600億円です。1年間で大体1.9倍の規模に成長しております。82年にはちょっと停滞いたしました、それでも2,200億円で、1.4倍。昨年から電電公社の北海道から九州までの縦貫幹線の布設工事が始まりまして、また大きく伸びております。恐らく3,700億、1.7倍ぐらいの規模に拡大しているはず。そういうことから考えていきますと、まあまあ90年までの成長はそう予測からずれないであろうと私どもは考えているわけです。会社の中での生産は、アップ・ツー・デートに規模がわかっておりますから、その増大からいきましても、ほぼ予測はいい線だという感じを持っております。

今から6年前にアメリカで予測されたのがTable Iですが、1990年に833 ミリオンダラーというアメリカのマーケットの予測をしました。それが昨年の予測では12.6倍に上がっているわけです。これほど年がたつに従って、予測というものは概して多目に出てくるものですが、それ

Table I 応用マーケット

世界のマーケット

米 1/2

EC 1/4

日 1/8

伸び率 30%/年

米国の例

応用分野	マーケットサイズ			特 長
	1980	1999	伸び率	
事務/教育	\$M 1	\$M 10	26%	事務機 (70~80%)
通 信	34.6	611	33	Telecom 99% CATV
民 生	0.6	24	45	用動率 99% センサ⇔マイコン
電 算 機	11	75	21	CPU⇔臨床
政府/軍需	4.6	44	35	
工 業	2.5	26	26	マイコン制御 90% 機械制御
計 測	0.2	3	31	Lab/Tat 70~752 医療 25%
そ の 他	9.6	40	16	
合計	64.1	833	29	

にしても6年で13倍にふくらませなければならぬほど、光産業は非常に大きく立ち上がっていることも事実です。それほど非常に勢いで光産業が立ち上がっていることは、もう疑いのない事実です。

光産業を大きく分けますと、光部品、光応用機器、光通信システムという3つのカテゴリーに分かれます。80年には光部品が大体65%、日本の生産の中で占めている主力です。応用の方は、両方を合わせても35%ぐらいというところでは、それが85年になりますと、急速に応用の生産規模がふくらんでまいりまして、2000年になりますと、光応用機器が42%、光通信システムが36%を占めるであろうと予測しているわけです。光応用機器の中で、80年では一番大きなパーセントを占めておりましたのが光プリンターで、その次ぐらいに大きいのがレーザー加工、その次がセンサーです。これが2000年には恐らく光ディスク関係——光メモリーからビデオディスク、オーディオディスク等の光ディスク関係がほぼ46%と、ほぼ半分を占めていくことになるだろうと思います。それから通信関係の機器が26%、いわゆるこの分野、光情報とまでは行かなくても、いわゆる情報処理に絡む端末周辺の分野におきますレーザー応用が、かなり大きく発展する。それには半導体レーザーの技術が急速に実用化して発展いたしておりますので、非常にコンパクトで使いやすい端末が実現し始めているということが一つの大きな理由であります。

光応用技術は、Fig. 2の中心に書いてありますように、光デバイス、あるいはそれを支える材料技術の中核といたしまして、光技術の特徴を生かすような応用に多面的にその分野を拡大していくと思うわけです。

きょうは時間も余りありませんので、光通信、あるいは光ディスク、メモリーの関係、それに情報処理の皮切り、加工技術の辺のお話を簡単に申し上げたいと思います。

さっき申し上げましたように、光通信の分野におきまして、大きく分けますと、公共通信の

ような大規模システムと、それからオフィス・オートメーション、あるいはファクトリー・オートメーション等に絡みますローカル・エリア・ネットワーク、あるいはCATV、ITV等のニューメディアの伝送分野、さらには交換機とかコンピューターなどの機器の中の情報の伝送という分野に急速に光ファイバーが入り始めております。ですから、光通信の場合、主に光ファイバー通信が主力であることは間違いございませんけれども、しかし、これから情報のアクセスビリティーということを考えていきますと、どうしてもデータビリティーということが要求されますので、いわゆるワイヤレスという分野への光通信の応用も無視できない重要な新しい分野として、かなりの応用を持っていくことは私は間違いないと思います。国内におきましては、電力会社等がかなり積極的に光ファイバー通信の実用化をやってくれました。もちろん電電公社は公衆通信という観点から、長年研究開発の推進をやってこられたわけでありまして、

実用化という意味では、やはり特殊通信応用の分野がさきに走ったわけです。といいますのは、やはり電力会社等では光ファイバーの無誘導特徴、対電磁誘導雑音特性というものが、非常に大きなメリットであったわけです。マイクロプロセッサが変電所等に入り始めまして、マイクロプロセッサがボコボコ壊れるという事故があった。それは金属のケーブルを介して誘導されるノイズやスイッチの開閉によるスパークが半導体LSIを破壊するなどいろいろな事故が多発している。システムの信頼性という意味から、外部からの妨害を避けることに対して光ファイバー通信は非常に大きな特徴を持っていたわけでありまして。昨年から大々的に電電公社の幹線システムの建設が始まっております。光ファイバー通信回線が加入者回線として各家庭に入るまでには相当の年限がかかります。現在の計画では90年代の中ごろには大きく普及すると聞いております。

大きな産業の規模として拡大するためには、どうしてもオフィス、工場、各家庭に光通信が

入り込んで大衆化して行く必要があります。応用の裾野をものすごく大きく広げてやらないと、大きな産業には発展しない。特殊な専門家が使うような応用だけが中心になっていたのでは、産業は大きくならない。やはり産業として大きく拡大するためには、大衆化路線を突っ走る以外に方法はないというのが私の考えであります。

光通信関係では、大きな公共通信システムとして早く実用システムに投じたのは開発国よりはむしろ開発途上国であります。開発国はかなり公共通信設備が普及しておりますので、なかなか割り込みが難しい。しかし、開発途上国はほとんどないところに新しいものをつくり込んでいきますので、本当に光ファイバー通信方式の大容量性とか、いろいろな特徴を必ずしも生かせるわけではないわけですが、しかし、50年先のことを考えれば、今使いこなせなくても、光ファイバー通信方式を入れたいという要望が、ものすごく開発途上国で強い。ただ、残念ながら皆さんお金をお持ちでないの、なかなか大変でございますけれども、それでも大変な数のシステムが日本から外国に輸出されております。ですから、現在、光通信関係の日本での生産の半分以上は輸出です。

Fig. 4はアルゼンチンのブエノスアイレス大都市圏に布設いたしました光ファイバー通信方式

DIGITAL TRANSMISSION SYSTEM —BUENOS AIRES DIGITAL BELT—

Fig. 4 ブエノスアイレスの光ファイバー通信網

で、これにデジタル交換を使って近代的な通信設備をやったわけでございます。当時はまだ140メガビットで、マルチモードファイバーを使っておりますが、それでも大体17万7,600トラंकファイバーの全長が6,000キロメートルぐらい。こういうシステムが、今、各国に出ているわけでございます。それと急速に工場内、あるいは会社の中のローカル・エアリア・ネットワークとしてオプティカル・ファイバー・システムが使われております。鉄鋼の製錬工場等には一番早く入ったシステムでございます。

現在、大きな問題があるのはやはりコストがまだ高いということで、非常にいいんだけどまだコストが高い。どこにネックがあるかといいますと、部品のコストが高い。特にファイバーの分岐のところのコストが高い。その辺はケーブルの方がまだまだ非常に楽で、安いわけでございます。使いたいんだけどコストが高いので、現在は経済的に妥協できる簡単なシステムにとどめておこうというユーザーが非常に多い。せっかく将来大きく拡大するのに、今からそういうシステムを前提において、いいシステムを入れておけば、長い目で見ると非常に得をするはずなのに、それができないというのは、現在ではコストが一つの障害になっている。その辺のところの技術を進歩させて、コス

Fig. 5 伝送容量と伝送距離に適したデバイスの選択

トがユーザーのニーズと合致できる製品を生産できるような技術にしていかなければならない。すばらしいポテンシャルを持っているのになかなか普及が難しいというところには、まだまだ技術の未熟ということが大きな障害になっているわけです。

光通信の技術は、どんどん、どんどん広帯域あるいはハイスピード、それから中継機の間隔を伸ばしていく、いわゆる伝送距離を伸ばすという方向に進歩いたします。Fig. 5にそれぞれ必要な現在の主力の半導体レーザー、あるいは発光ダイオードの波長、それと使われている光ファイバーのモードの主なものを書いてございます。ファイバーは、長距離高速システムに対しては、マルチモードからシングルモードファイバーへの移向は決定的な方向です。それから光通信という観点では、長波長——1.3ミクロンから1.5ミクロンへと進んでおります。短距離、あるいはローカル・エリア・ネットワークの応用に対しては、短波長——0.8ミクロン帯で、主力はレーザーダイオードから発光ダイオードに移りつつあります。しかも発光ダイオードでもギガビットレートの変調がかかるようにダイオードの技術が進んできております。かなり短距離で広帯域、高速の伝送がローカル・エリア・ネットワークで可能であります。かなり高度な情報の伝送が、発光ダイオードを使って可能な時代に入ってきております。

Fig. 6 光通信技術の進歩

これからの大きなシステムとしてまだ建設が必ずしも始まっておりませんが、国際海底ケーブルシステムです。それにはどうしても広帯域、長距離伝送ということが決定的な競争条件になります。技術は、広帯域、高速化、長距離化という方向に進んでおります。Fig. 6は年を経るごとにどういうふうに技術が進んでいるかという軌跡を示したものです。これが先端的な光通信技術の動向でございます。

さらに伝送距離を伸ばすために、電波では大昔から使っておりますヘテロダイン方式に進んでいくことは間違いありません。しかし、そのためにはデバイス技術、あるいはファイバー技術がもっと進まなければならないという問題がございます。

光通信はそれぐらいにいたしまして、次に、メモリー、光ディスク関係に入ってまいります。Fig. 7は必要なレーザーの出力と波長のドメインを示したもので、どういうふうなところに大きなマーケットが開けるであろうかということを、1985年—来年の規模で予測したものでございます。一番大きな市場がダイレクト・リーディング・アフター・ライティングです。書き込みして直後に読み出しできる方式のディスクでござ

Fig. 7 光応用機器の位置づけ, 1985年の予測

います。書き替えはできない。その市場が非常に大きく拡大するであろう。今の状態からいきますと、来年度ではこの規模は国内では危ないんじゃないかという感じもいたします。それはやはりメモリー媒体にまだ決定的な問題が残っているということです。なかなか量産が追いつかない。需要はあるんだけど生産が間に合わないという問題です。この先には、いわゆる現在の磁気ディスクと同じく書き替え可能なメモリーが出てくるわけです。もちろん研究は行われておりますけれども、まだ媒体として必ずしも十分な媒体まで開発が進んでおらないという問題があります。

さらに光ディスクの書き込み可能な媒体としては、現在の主力がへますと公害問題を起こしかねない材料を使っております。公害問題につながらないような安全な媒体をどうしても解決しないと、ある時点でマーケットが大変混乱しかねないという心配があります。その辺にも媒体という材料に大きな問題があるわけです。より小さいレーザーの出力で書き込みできる、しかもS/N比の大きい、信頼性が高い材料の開発の期待されます。

今まで実用化されてきたビデオディスクは、小型のヘリウムネオンレーザーを使っておりますが、これが急速に半導体レーザーにとってかわりつつあります。ビームの対称性のよさということで、今までのレーザーダイオードでは問題がございましたけれども、レーザー技術が進みまして、かなり対称性のいいスポットビームが出るようなレーザーが解決されております。光学系がシンプル化してコスト低減ができる可能性が出てまいりました。その辺のところでこれから急速に実用化が拡大するであろうと判断いたします。

生産規模としては、これらに比べてそれほど大きくございませんけれども、レーザーのPOS端末がかなり普及を始めているわけです。今までのものはヘリウムネオンガスレーザーを使っておりますけれども、これが急速に半導体レーザーにかわりつつございます。それと光の偏光

にホログラム・プレートが使われ始めてます。古いのはポリゴンミラーを使って光の偏光をやって、かなり広角に視野を大きくして気ままにバーコードを通して正確に読むというために、かなり広角に偏光をして使うわけですが、それをホログラム・プレートで偏光をやる。これがレコードと同じようにプレスでポコポコ生産できますので、非常にコストが安くなってきております。この関係のプログラムの応用も、レーザーの発明の初期からかなり大きな期待がかけられて研究が進められてきましたけれども、帯に短くたすきに長しで、なかなか応用の分野がひらけてこなかった。これが一つの応用の分野として実用になり始めたわけです。

光情報処理の分野ですが、並列デジタル処理、あるいは並列アナログ処理、時系列信号処理など、いろいろはアイデアが出されて、わずかながらいろいろな研究が、アナログとデジタル分野でTable IIに示すようなものが出ております。西沢先生から話もありました双安定レーザーダイオードの実験もかなり早い時期からやられております。また最近はおプティカル・インターコネクションということで、金属配線を光配線に置きかえて、かなり自由度を持たせていこうという発想もいろいろあります。アナログの分野で光・磁気効果を用いた次元相関回路は、

Fig.8 ホログラムディスクによるレーザービームの核

Table II 光コンピューティング研究の進展

年	アナログ	デジタル
1948	ホログラフィの原理	
1959	コヒーレントフィルタリングによる画像修正	
1965	AOを用いた一次元相関路	
1966	合成開口レーダへのコヒーレント光技術の応用	
1967	ホログラフィックフィルタリングによる画像修正	
1970	位相共役を用いた実時間ホログラム	マトリクス演算提案
1974		光双安定実験
1975		剰余演算光コンピューティング提案
1977		tse(字)コンピュータの提案 ハイブリッド型光双安定実験
1979		導波路型光マルチバイブレータ, 光半加算器の実験
1981		シストリック演算の提案 光双安定半導体レーザーの開発
1982		符号化入力画像による並列光論理演算法の開発 Optical inter-connectionの提案

レーダー初めいろいろなところに使われ始めております。Fig.9 は一つの例です。また衛星から送ってきます複雑な画像情報を処理する場合に、現在のスーパーコンピュータでもなかなか時間がかかりますので、このアイデアを使ったスピードアップということ等も、アメリカ軍ではかなり長年研究を続けてきております。一部実用化されていると聞いておりますが、それでも余りパツとしないということで、軍の秘密技術が民間に最近公開されたという話を聞いております。その辺のインパクトもばかにならないんじゃないかという、一種のおそれを抱いて

HYBRID - INTEGRATED ACOUSTOOPTIC CORRELATOR

Time - integrating Correlator

- (1) monolithic LiNbO₃ optical circuit
 - (2) hybrid - integration by LD, optical circuit and CCD sensor
- * Correlation Time 3.5 ms
 - * Frequency Bandwidth 100 MHz
 - * BT Products 3.5×10^6
 - * Dynamic Range 16 dB

Fig.9 一次元相関回路

います。

それから光ファイバー通信がどんどん進んでまいっておりますが、これを交換するときにはみんな電気に一遍変換して交換せざるを得ない。特にこれからのニューメディア時代において非常に広帯域の画像情報等の通信で交換をいたしますと、やはり光信号のままで交換をすることによって、大変システムのコストダウン、それから品質の維持が可能になっています。そのために、光の交換技術の研究を始めているわけです。ここにバイステーブルのレーザーダイオードをメモリーとして使っているわけでございます。このダイオードにFig.10のような構造になっておりまして、2つの直列のダイオードの電圧のコントロールによって、出力はヒステレスを持たすことができます。非常に弱い信号の増幅とスイッチングとメモリーと、その3つの機能をこのダイオードで持たすことができるということで、一種のロジックの基礎デバイスでございます。

こういうふうな新しい光機能デバイスをどんどん開発していかないと、光コンピューターの

Fig.10 タンデム電極つき双安定レーザーダイオード

イメージがなかなか浮かんでこないのであります。私どもで光スイッチの基礎的な実験の発表をいたしましたときに使いました信号が、大体70メガビットぐらいです。それぐらいがデバイスでの限度だろうということで余り反応がなかったわけです。現在は400メガビットの広帯域スイッチングが実現できております。発光ダイオードでもとても100メガビット以上のモジュレーションは無理だろうと言われたものが、すでにギガビットになっております。レーザーダイオードでは大体4ギガビットぐらいのところの変調が可能になってきております。デバイス技術の進歩によって、かなりスピードを上げていくことは可能です。そのためには、やはり材料技術が進んでいかなければいけないということがございます。

大体制限時間に近くなってまいりましたが、最後にレーザーのエネルギーと光のエネルギーを利用した応用について簡単に触れてみます。加工用レーザーといたしましては、Table IIIに書

いてありますように、Nd: YAG, アレキサンドライト, CO₂レーザー, アルゴンレーザー, それから最近エキシマレーザーというものが急速に脚光を浴びてきております。これは紫外線の発振が可能であるということで、光化学反応に持ち込める。単なるエネルギーとしての加工から、光化学反応に拡大した加工ということが可能になります。そういう面で、いろいろな半導体のエピタキシャル成長の段階におきましても、光エネルギーをつけ加えることによってもっといろんなコントロールが可能になるんじゃないかという期待もあるわけです。西沢先生がおっしゃったように、低温で成長できることは質のいい結晶につながる。光をつけ加えることによって低温化がかなり楽になるんじゃないかという期待もあるわけでありまして。

レーザー加工技術が現在のLSI製造技術とどういう関連があるかを示したのがTable IVです。現在いろいろ試行されておりますのは、露光用マスクの修正,あるいは露光用短波長の光源とし

Table III 加工用小・中出力レーザー

レーザー		Nd: YAG	アレキサンドライト	CO ₂	Ar ⁺	エキシマー
波長		1.06 μm	0.73~0.8 μm	~10.6 μm	0.488 μm 0.515 μm	0.249 μm (K, F) 0.308 μm (XeCl)
発振形態とレーザー出力	連続励起	CW発振 ~12W (TEH ₀₀) ~400W (マルチ) Qスイッチ発振 ~25KW (TEM ₀₀) ~200KW (マルチ)		CW発振 数W~1KW	CW発振 数W~40W (~TEM ₀₀)	
	パルス励起	ノーマル発振 場力~50J/パルス 最大繰返し~200 ~200pps 平均出力~400W	Qスイッチ発振 出力~5J/パルス 最大繰返し ~40pps 平均出力10~40W	パルス発振 ~数KW (~200pps) ~600KW (~300pps)		パルス発振出 ~250mJ (K, F) ~110mJ (XeCl) 最大繰返し ~300pps 平均出力10~30W
特徴		発振形態が多様 装置が小形	近赤外チューナブル 比較的高出力	発振効率高い アルミナ基板に吸 収が良い	可視CW高出力 出力安定良	UV域高出力 マルチモード
応用例		トリミング マーキング リペアリング スクライビング 溶接 アニーリング マスクパターン発生	マーキング 穿孔 アニーリング	溶接 半田付け スクライビング (ハンダ付け) カッティング	アニーリング リペアニング マスクパターン発生 レーザー製版	マーキング デポジション エッチング アニーリング etc.

Table IV レーザープロセス技術のLSI製造技術への応用

技術分類	テーマ	必要性
露光用マスク修正技術	・ Laser MOCVDによる透過型欠陥の修正(従来は通常の蒸着法で対応)	極めて大
露光用短波長光源技術	・ Laser PlasmaによるX線発生(最近, YAGレーザー方式の出現) Battete, IBM	X線露光の技術動向による
ウェハプロセス技術	・ 回路の溶断, 結線(穴長回路等への展開) 日立, IBM ・ オーミック電極, P-N接合, 合金, ドーピング ・ SOI(Si on Insulator)等の再結晶化	極めて大? (技術動向による)

て応用する。あるいはウェハプロセス技術——今申し上げましたように、いろいろな結晶成長、あるいは配線の修理等に絡むところでいろいろな応用が考えられます。

そういうことで、レーザー加工という応用も、いろいろと分野が広がりつつあります。そういう面でも今後、大変いろんなものが出てきて、恐らくそのうちにいろいろなプロセス——製造工程の中にレーザーが使われてないと近代工場ではないと言われるような時代が恐らく来るのではないかという感じを受けるぐらいです。もちろん化学工業もレーザーには非常に大きな期待をかけて見ていることも事実です。

時間も過ぎましたのでこれぐらいで話を終わりますが、今まで具体的な問題の中でどういう問題が残されているというか、まだ我々の目の前に横たわっている、それを解決しなければ大

衆化なりませんよと申し上げてきたところに、大変重要な研究課題があると思います。そのアプローチは、恐らくいろんなアプローチがあると思います。ユニークなアプローチじゃなく、いろんな方向から攻めて、その中ですばらしい解決策が生まれてくるだろう。そういう意味では、過去、日本人がとかくとってきた、一つのバスに乗りおくれるなどという概念ではなく、バスはいろいろあるさ、自動車もあるさ、バスもあるさ、自家用車もあるさ、バイクもあるさ……という感覚で、いろんな発想で未解決の問題に若い人が挑戦していただくことが必要ではないかと思っています。

大衆化を実現するために横たわっている莫大な技術的課題の解決なしに、冒頭に示しましたように、2000年で12兆円の規模の莫大な光産業になることは不可能であります。そういう意味で、これから10年、いろんな分野の人の大きな努力が望まれておりますし、しかもいろんな分野の人がお互いに問題を提起しながら、新しい発想を生み出していくことが非常に重要であります。一人一人の皆さんの独創というものが必要であります。アプローチという面、それぞれの新しい技術の障壁を突破するための独創というものが不可欠であります。しかし、それを大衆化していくためにはいろんな分野の技術者がお互いに手を取り合って協力して、初めて大衆化技術として大きく羽ばたいていくわけです。個の独創と群の創造、これが不可欠な世の中に入っている。大体60年ぐらまでは個の独創と個の創造で、ある一つの産業の種が生まれたわけであります。しかし、現在は個の独創、個の創造ではとても競争になるほど甘い時代ではなくなっています。

そういう面で、光産業は非常に夢多い産業でありますし、それには夢多い数多くの新しい技術を生み出していかなければならない。私どもの簡単な予測によりますと、90年代の後半から21世紀にかけて、大きく経済が再び立ち上がってくる時期ではないか。それが実現するためには、80年代と90年代にそれに必要な技術革新の

芽の90%が生まれなければならないという計算になってきます。今が努力しがいのある時期であります。努力すれば必ず技術革新の芽が生まれ、産業として育つ環境が日本の中でもすでに整ってきている。我々が若いころさんざん苦労していた頃とは、全く日本の産業界の環境はさまがわりして、非常に恵まれた環境の中に今の若い人は居ると思います。ですから、大いに夢を持って、大いに頑張っていただきたいと思います。どうもありがとうございました。(拍手)

司会(柏木) 大変広範囲に及ぶ未来に対する期待をお示しいただいたわけでございます。夢を持つこと、努力することが必要で、90年代にはレーザー技術が中核技術になるんだというお話がございました。

大変広範なお話でございます。通信、光メモリー、ディスク、情報処理、周辺処理、それから光エネルギーの応用に至るまで、皆さんの関心事は尽きないと思いますので、どうぞ活発にご質問等ございましたらお申し出いただきたいと思います。

西沢 最初に柏木さんにちょっと……。光計算機はだめだとは言っていないです。材料をよくしなければ見込みがないと言ったんです。

それから植之原さんとここでお話ししていましたが、要するにメインフレームなんていうのはちょっと難しいんじゃないかと思っておりますが、それ以外の例えば二次元演算処理とか、そういう点にはいい点がありますので、そういうところは決して否定はしておりません。

それから植之原さんのお話の方になりますが、光化学の分野はもう少し伸びるんじゃないか。場合によっては、今の化学は熱化学だと思えますが、何十%かが光化学に移るんじゃないかと思うんですが、いかがでしょうか。

植之原 恐らくそうなるんだろうと思います。化学の分野で今までほとんどやられてこなかった、残された宝の分野がその辺にあるんじゃないかと思います。そういう意味で、化学の人たちも大変大きく光化学反応に対して期待をかけられております。しかし、その観点から言いま

すと、現在のレーザーの発振波長は余りにも限られているということで、科学者がいろいろ自分たちの必要なところに応用しようと思うとある障壁が、レーザー発振源という方向からあるために、なかなか思うような研究が得られてないということが、私はあるんだと思います。そのためにも、西沢先生がさっき電波と現在のレーザーの間を埋めなければならないとおっしゃいました。それと同時に、もっといわゆる化学分野で必要な短波長の方に、紫外線の方向に波長の域を広げていかなければならないという点と、連続に発振波長が変えられる技術をどうしてもつくらないと、研究用のルーツとしてもいろいろまだ発振が連続に今の電波のようにスムーズに変えられないということからのネックがあります。恐らく変えられないギャップのところにある宝を見出せないで過ぎるという危険性を大いにはらんでいる。もちろんそのためには必ずしもコヒアレントでなければならないという制限はないのかもしれませんが、やはりコヒアレントで連続的にスペクトラムがカバーできるということは、どうしても実現しなければならない、科学技術者に天が課した責務だろうと感じます。それぐらいの責任感を持って研究をやっていくべきではないかと思って、非常に楽しみのある分野だろうと思っております。

司会（柏木） 西沢先生から、光コンピューターを否定しているんじゃないというお話ですが、英語ではオプティカル・コンピューターという言い方と、オプティカル・コンピューティングという言い方があります。私、コンピューティングの方はかなりすぐれた能力を持っているだろうと思います。コンピューターというのは。植之原さんのご指摘のように、素子間の配線、それから内装その他で内部配線の遅延をいかになくすかということと、さらにアースフリーといいますか、キャパスタンスにも私も大変悩まされておりますので、キャパスタンスフリーという領域で光が十分生き得る領域があるんだろうと私自身は考えております。

それから今、植之原さんは西沢先生のご質問に対して、我々に与えられた神の課題であると

いうおっしゃり方をしたわけでございますが、逆に私は、我々が生き残るために必要なものは神が必ず自然界に埋め込まれているわけで、今まで人間はそういう努力を重ねてきて生き延びているわけでございます。我々の努力によってそれは必ず克服できるものだろうと確信しております。まだご質問がございましょうか。

- これは西沢先生と植之原先生ご両人にお伺いしたいわけです。今のお話は、どちらかといいますと、植之原さんの方はエコノミカル・リミテーションのお話が多かった。前の西沢先生の方はティピカル・リミテーションという観点からお話をいただいたと思います。先ほど西沢先生のお話の中で、ゲインの大きなマテリアルのお話がありました。大体ティピカル・リミテーションとしてゲインがどれぐらい得られるんだろう。理想的に考えた場合、どのくらいまで行くんだろうかというコメントをいただけると大変ありがたいと思います。

西沢 大変いやなことをお聞きになります、さっき私が言ったことで逃げをうちます。発光ダイオードでも高率の計算をなさった方々のデータは合わないわけです。ですから、ましてやレーザーダイオードの方のゲインの計算になりますと、ほんとにやってみないとわからないかと思っております。（笑）

植之原 理論というものはある仮定の上になり立っているわけで、その仮定で、そのときにはそれほど重要でなかったからネグッていた項目が、どんどん、どんどんよくなるとネグれなくなりますから、そのときには仮定をもう一遍見直して理論をつくり直してみないと、かなりずれてくるものが過去にたくさんあります。だから、大先生が言われたからといって、うのみに信じていたら独創というものはあり得ないわけですから、ここにたくさん大先生がおられますけれども、大先生を蹴飛ばすぐらいのつもりで若い人はやっていただかなければ困るだろうと思います。

司会（柏木） どうも大変長い間ありがとうございました。これでこのセッションを終わらせていただきます。（拍手）