

# IOOC '83 報告

左貝 潤一・杉村 陽

日本電信電話公社武蔵野電気通信研究所 〒180 武蔵野市緑町 3-9-11

1983年6月27日から7月2日まで東京および神戸において「集積光学及び光ファイバ通信国際会議」(IOOC '83)が開催された。1977年に東京で第1回が開かれてから今回で4回を数える。会議にはこの分野をリードする大部分の研究者を含め1,000名程度の参加者があり、約250件の論文が発表された。

会議が日本、欧州、米国と一巡する間の光技術の進歩には著しいものがあった。今回の会議では成熟した光技術をもとに長距離大容量伝送など高度な応用システムが多く発表された。同時に半導体光源のコヒーレンスなどの基礎的問題への取り組みや光集積回路の新しい方向づけなど、従来の研究をより深く掘り下げつつあるとの印象も強かった。本稿では以下の各項目について報告する。

## 1. 長波長半導体レーザー

長波長レーザーは高速変調時に縦多モード動作を行なう傾向が強い。これは光ファイバの分散値が残存する1.5 $\mu\text{m}$ 帯光伝送システムに対し、長距離大容量の限界を与える。半導体レーザーの構造の工夫により、高速変調時でも縦単一モード化する試みが多く発表された。

構造的に発振波長を固定するDFB<sup>\*1</sup>、DBR<sup>\*2</sup>レーザーはその代表的なものである。安定な単一モード動作を得、閾値を低くするための構造につき詳しい報告が多数なされた。閾値電流数十mAで1.6Gb/sの高速変調に対しても単一縦モード動作をするものなどが得られている。

DFBのような微細な構造を設けずに、多重共振器構造や短共振器化によりモード選択性をよくできる。この種のものとして、へき開した2個のレーザーを並べたC<sup>3</sup>レーザー、導波路に曲がりをつけて実効的に2個の共振器をモノリシックに構成したレーザーがある。各共振器に別々に電極をつけた構造のこの素子は、縦単一モードのほか共振条件を注入電流で制御して周波数変調

や双安定動作などを行なわせることができる。

会議ではDFB構造、多重共振器構造、短共振器構造の互いの得失について活発な議論があり、国際会議ならではの雰囲気があった。

1.5 $\mu\text{m}$ 帯では光ファイバが低損失のため、上記の縦単一モードレーザーを用いれば長距離大容量光伝送が可能になる。1.6Gb/sの符号伝送速度で40kmの無中継光伝送、445.8Mb/sで134kmの光伝送、1Gb/sで84kmの光伝送など、最新の高性能光伝送の実験結果が数多く報告された。

## 2. 光源のコヒーレンス

従来、半導体光源はおもに強度変調光伝送に用いられていたため、そのコヒーレンスについての関心は低かったが、最近、光源のスペクトル幅と各種媒質伝播時のコヒーレンスの影響についての研究が急増している。

半導体レーザーのスペクトル幅は通常のFM雑音以外に、キャリア揺ぎのAM-FM変換を通じても広がる。この考えは1960年代からあったが、半導体レーザーでこのことが本質的に重要な役割を果たしているとの認識が一般化してきたのはごく最近である。今回の会議でも、AM-FM変換のないときのスペクトル幅に比べて、変換があるときのスペクトル幅は $(1+\alpha^2)$ 倍( $\alpha$ はキャリア変化に対する屈折率の実部と虚部の変化の割合の比)大きくなることが示された。また、FM雑音スペクトルにはAM雑音で得られるような共振ピークが生じる。しかし、 $\alpha$ の値についてはこれまでの報告値が1~6と大きく開いており、これについての議論が行なわれた。会議では長波長レーザーやDFBレーザーの線幅の発表も行なわれた。異なった構造、材料のレーザーのデータをもとに今後 $\alpha$ の妥当な値についての議論が深まっていくものと思われる。

光出力を無限大としたときの線幅はこれまでの理論ではゼロに漸近するが、実験的には数MHzの残留線幅がある。これを説明するため電子のバンド内緩和に伴うキャリア揺ぎのモデルが提案された。

\*1 DFB: distributed feedback; 分布帰還型

\*2 DBR: distributed Bragg reflector; 分布ブラッグ反射鏡

一方、光計測、コヒーレント光伝送、モード雑音など各種光学系におけるレーザー光源のコヒーレンスに対する要求条件が明確にされた。マッハツェンダー干渉計型センサ、コヒーレント光伝送では縦単一モードレーザー、ファイバジャイロではスーパールミネッセンスダイオード、モード雑音を抑圧するためには多モード発振レーザーが望ましい。また、モード雑音については、光源の線幅、モード励振条件、接続損失などとの関係が明らかにされた。

### 3. 光ファイバ

従来の石英を主体とした研究は高速合成、高強度化の方向に向いているが、最近では偏波、赤外ファイバの研究が盛んである。

偏波ファイバは光計測、コヒーレント光伝送用線路として脚光を浴びている。絶対単一偏波、単一直線偏波、円偏波光ファイバについて利害得失を明らかにするため、製造法、偏光特性測定・解析の研究が進められている。偏波ファイバの特性比較、二つの偏光に対する損失差を利用した単一偏波ファイバ、単長 8 km の偏波ファイバ製造、微小な偏波分散値測定などが報告された。従来ファイバを海底ケーブルとして用いたとき、30 km 伝送後も偏波分散による遅延が 0.5 ps 以下であることは注目すべきデータである。

2~10  $\mu\text{m}$  帯で低損失となりうる光ファイバが材料と製造法の両面から研究されている。材料としては酸化物、フッ化物、カルコゲナイド各ガラス、ハライド結晶などが試みられている。近年フッ化物ガラスで低損失値が得られており、今回も  $\text{ZrF}_4\text{-BaF}_2\text{-CdF}_2\text{-AlF}_3$  で 12 dB/km (波長 2.55  $\mu\text{m}$ ) が報告された。これを上回るものとして、VAD<sup>\*3</sup> 法で製造した  $\text{GeO}_2\text{-Sb}_2\text{O}_3$  で 5 dB/km (2  $\mu\text{m}$ ) が達成されたことが特筆される。

### 4. 光集積回路

光集積の概念の歴史は古いが、具体的な形はまだ明確でなく模索が続けられている。ひとつの試みは、光が得意とする情報伝送機能と電気が得意な情報処理機能を相補的に生かすために集積化する動きである。この光-電気集積の概念が今回の会議でかなり明確になってきた。集積用半導体レーザーの今後の技術としては、短共振器化、高反射率化、低温動作が重要であると指摘された。製造技術面では、MBE<sup>\*4</sup> を用いて量子井戸レーザー

と FET を集積化したのが目を引いた。このほか PIN ダイオードと FET、レーザーと FET、レーザーと検波器などの集積化の発表があった。

他の試みは、スイッチ、変調器、アイソレータ、分波器、マイクロレンズなどの従来からの光素子を、機能を限定して複合化する方向である。高速信号処理を目指した光スペクトル分析器はその一例である。上記単体デバイスは従来技術が徐々に洗練されて特性の改善が図られている。

注目すべき論文の一つとして、 $\text{Ti:LiNbO}_3$  を用いた 1.3  $\mu\text{m}$  での進行波型変調器がある。符号間干渉を除く工夫をした結果、8 Gb/s まで変調できた。また、金属・誘電体の周期層からなる偏光子を含んだファイバ型アイソレータでは消光比 30 dB が達成された。一方、計算機制御された電子ビーム描画装置では、分解能 0.3  $\mu\text{m}$  で  $3 \times 3 \text{ mm}^2$  の範囲に回折格子などの微小光回路が作製可能であった。光スペクトラム分析器の現状は、帯域 400 MHz、分解能 4~8 MHz、ダイナミックレンジ約 20 dB であり、おもに分解能、ダイナミックレンジの改善に関して発表が行なわれた。

### 5. 新しいシステムへの応用

光技術の成熟を反映して、長距離大容量伝送だけでなく、LAN<sup>\*5</sup>、海底ケーブルなどへの応用の論文が数多くあった。光ファイバによる LAN は種々の形のものも発表されており、各システムの詳細について報告された。ファイバの特徴を生かした高速ネットワークとしては、符号伝送速度 500 Mb/s のシステムが目目を引いた。海底ファイバ伝送に関しては、近い将来の実用化のためにファイバの対静水圧安定性、中継器の特性、中継器ジッタ蓄積などシステムとしての特性が詳細に報告された。

### 6. 将来光伝送方式

信号を光周波数・位相にのせ、光ヘテロダイン・ホモダイン検出を用いたコヒーレント光伝送が次世代の方式として期待されている。英国の BTRL から 1.5  $\mu\text{m}$  帯で 140 Mb/s、123 km の伝送実験が報告された。これでは従来の石英系光ファイバが用いられているため、偏波ファイバの必要性についても議論が沸き上がっている。0.85  $\mu\text{m}$  帯での 200 Mb/s FSK<sup>\*6</sup> ヘテロダイン、1.3

\*3 VAD: vapor-phase axial deposition

\*4 MBE: molecular beam epitaxy; 分子線エピタキシャル法

\*5 LAN: local area network

\*6 FSK: frequency shift keying; 周波数偏移変調

$\mu\text{m}$  帯での 32 Mb/s PSK\*<sup>7</sup> および ASK\*<sup>8</sup> ヘテロダイ  
ン、偏波ダイバーシティ光受信機などが報告された。

ピコ秒光パルスを用いて超高速光伝送を実現しようと  
する動きがある。光ファイバ中の分散性を利用したチャ

\*<sup>7</sup> PSK: phase shift keying; 位相偏移変調

\*<sup>8</sup> ASK: amplitude shift keying; 振幅偏移変調

ープパルスや光ソリトンの分野では、InGaAsP レーザ  
ーを用いた 6 km 伝送、パラメトリック相互作用を用い  
た 1.2~1.5  $\mu\text{m}$  波長可変光源が発表された。また、フ  
ァイバを活性媒質としたピコ秒パルスの誘導ラマン増幅  
では、利得が 19 dB で応答時間が 100 ps であった。

(1983年8月2日受理)

## At The Kobe GRIN IV Conference

Paul O. McLAUGHLIN

Institute of Optics, University of Rochester, Rochester, New York 14627, U. S. A.

Without a doubt, the Fourth Topical Meeting on Gradient-Index Optical Imaging Systems held in Kobe was a tremendous success. The excellence of the scientific and technical papers, the beautiful International Conference Center Kobe, and the large attendance by scientists from many different countries made the meeting a very interesting and exciting place to be. On behalf of the foreign participants and guests, I'd like to thank the General Chairman, Dr. I. Kitano, and all the members of the organizing committee for the hard work and valuable time they spent in preparation for the Fourth GRIN Conference. Their efforts were tremendously successful and were greatly appreciated by all the conference participants.

While the conference officially started Monday morning, for most of us, "the meeting" actually started on the weekend with sightseeing at the many beautiful parks, gardens, temples, shrines, etc., of Tokyo or Kyoto or Nara. (Please don't tell our home companies!) Arriving in Kobe on Sunday, the Portliner ride across the harbor to Port Island was a fantastic experience. The city with the mountains in the background provided a splendid view and a magnificent setting for the GRIN Conference. At the Registration reception, I was surprised and honored to receive an invitation to write this paper. At least 45 people attended the Sunday evening reception and I saw "at least 45 people" enjoying the opportunity to meet old friends and make new ones. Sunday night and the following two days of the conference was a time for exchange of both technical and cultural experiences.

Monday morning the Fourth GRIN Conference opened with warm greetings and welcomes from the General Chairman and from the Deputy Mayor of the City of Kobe. I'm sure that the

more than 165 participants, including more than 35 foreign scientists, felt the genuine warmth of the welcome. The first technical paper was an invited paper on "Optical Waveguide Lenses" presented by Professor S. Tanaka; the first question was asked by Dr. D. T. Moore. The day's 25 regularly scheduled papers plus 2 post-deadline papers offered many more opportunities for questions and discussions among the conference participants. Monday evening at the Conference Buffet Party we had the chance to relax and enjoy good food and good conversation. The lovely wives who attended the party added charm and grace which made for a very pleasant and refreshing evening.

Tuesday morning we were greeted by the rainy season. I think it rained Tuesday morning so the foreign participants would not be disappointed. After hearing so much about the rainy season and seeing so much sunshine, we were beginning to wonder if the rainy season was a myth! Again, the papers presented were excellent and covered a wide range of related topic which generated many ideas for discussion and future research.

Upon leaving Kobe after the conference, I started to think about the next GRIN conference. I hope we can all meet there next year with new ideas and new discoveries to make the Fifth GRIN Conference as successful as this Fourth GRIN Conference has been. Once again, on behalf of the foreign participants and guests, I'd like to thank the organizing committee, the corporate sponsors, and the City of Koke for their warm welcome and generous hospitality during our brief but memorable visit.

By the way, can anyone tell me who asked the last question at the Fourth Topical Meeting of Gradient-Index Optical Imaging Systems?

(1983年7月14日受理)