

1990年光学界の進展

「光学界の進展」は、過去1年間の光学の研究活動状況ならびに進歩発展について解説したものです。昨年まで「光学界の展望」と題していましたが、今年から「光学界の進展」と題してお届けします。なお、本解説における検索範囲は、応用物理学会を中心として、他に関連する学会・研究会・国際会議等における発表（口頭および論文）で、本文中での検索雑誌・学会等の名称は下表のごとく略記法を用いています。

表 「光学界の進展」引用学会等の省略記号

◆学会誌関係	記号	◆講演会関係	記号
光 学 第18巻第12号	a-0	第37回春季応用物理学関係連合講演会	1
第19巻第n号	a-n	第51回秋季応用物理学学会学術講演会	2
応用物理 第59巻第n号	b-n	第15回光学シンポジウム	3
Jpn. J. Appl. Phys. (1) Vol. 29, No. n	c-n	第7回色彩工学コンファレンス	4
(2) Vol. 29, No. n	d-n	第20回画像工学コンファレンス	5
Jpn. J. Appl. Phys. Lett. Vol. 29, No. n	e-n	第21回画像工学コンファレンス	6
J. Opt. Soc. Am. (A) Vol. 7, No. n	f-n	第23回光学五学会関西支部連合講演会	7
(B) Vol. 7, No. n	g-n	春季電子情報通信学会全国大会	8
Appl. Opt. Vol. 29, No. n	h-n	秋季電子情報通信学会全国大会	9
Opt. Lett. Vol. 15, No. n	i-n	OEC '90	10
Opt. Commun.	j-m-n*	第5回光波センシング技術研究会講演会	11
J. Lightwave Technol. VT-8, No. n	k-n	第6回光波センシング技術研究会講演会	12
Appl. Phys. Lett.	l-m-n*	OFS '90	13
オプトロニクス	m	Optical Computing '90	14
Proc. SPIE Vol. 1316	n	Soc. for Information Display '90	15
Photonics Tech. Lett. Vol. 2, No. n	o-n	第16回液晶討論会	16
分光研究 第39巻n号	p-n	Eurodisplay '90	17
照明学会誌 第74巻 n号	q-n	Opt. Liquid Cryst. '90	18
IEEE J. Quantum Electron.	r	光メモリ国際シンポジウム '90	19
Vol. QE-26, No. n	s	MICROOPTICS NEWS Vol. 18 No. n	20-n
Phys. Rev.	t-n	Integrated Photonics Research '90	21
Phys. Rev. Lett. Vol. 64, No. n	t'-n	OFC '90	22
Vol. 65, No. n		冬期視覚研究会	23
		夏期視覚研究会	24
		照明学会研究会資料	25
		照明学会全国大会	26
		電気関係学会関西支部連合大会	27
		IQEC '90/CLEO '90	28
		SLC '90	29

* Opt. Commun. は、m: Vol. (75~80), n: No. (1~16), Appl. Phys. Lett. は m: Vol. (56, 57), n: No. で表記。

1. 光 物 理

1.1 量子光学と光工学の架橋

1.1.1 序

光物理の分野は古典物理光学と量子光学を含むが、近年光のもつ多様な性質を利用し尽くそうとする光工学との接近が著しいため、基礎と応用の区別がつきにくくなってきた。とくに光の性質を思うままに制御できれば光工学との接点として有力になる。五つの項目をピックアップして展望する。

1.1.2 光子状態の制御

コヒーレンス状態を制御するにはレーザーシステムにおける揺らぎの要因を一つずつ除去してゆくことが必要である。大津らは先に半導体レーザーへの負帰還によりハイパーコヒーレンス状態を実現した^aが、さらに半導体レーザー増幅器を位相共役鏡として用い、安定化に益することを示した^{c-11}。また光の強度安定性と位相安定性とは不確定性原理によって積の下限が抑えられているが、一方を大きくすることにより他方を安定化するスクイーズ状態の発生についても継続的な努力が積み重ねられている。とくに3次非線形媒質のカー効果により実現する一連の仕事は光学論文賞の対象となった(井元信之)^{a-11}。色素レーザー系について平野、松岡が、半導体レーザーについてリチャードソン、山本らが顕著な成功を報告した²⁸。光の空間的性質について自由空間をほとんどひろがりなしに伝搬する非回折性レーザービームの生成が報じられた(上原喜代治)^{b-6}。

1.1.3 光学遷移率の制御

超高速光信号処理への応用には大きい振動子強度の非線形光学媒質の開発が切望されるが、電子状態をゆるく局在化させることによって巨大な振動子強度が得られることの一連の予測がまとめて解説されている(花村榮一)^{b-3}。半導体超格子におけるACシュタルク効果の利用によって限界の速度が得られる見込みがあるが、山西正道らは^{c-11}超高速遷移を実測し、また中村新男は超微粒子分散系の非線形光学応答を論じた^{a-1, b-6}。非線形光学定数と光情報処理デバイスの関連について安藤弘明^{a-1}、河口仁司^{a-1}、久保寺憲一^{b-2}らが論じている。微小共振器の中の光子場は境界条件によって媒質との相互作用が異なる。この原理を用い、半導体超格子の技術を活用することによって自然放光の増強と抑制を作り分けることができた(山本喜久ら^{a-8, b-9}、横山弘之^{a-8})。面発光半導体レーザーはこのような構造を含むが最近の進歩が手際よくまとめられた(小山二三男ら^{a-10})。

1.1.4 超短パルスの制御

フェムト秒レーザー光源の開発は6フェムト秒の記録出現後は一段落し、その後はよりよい波形制御性を目指して研究がすすめられているがその動向がまとめられた(山下幹夫¹⁰)。とくに半導体レーザーからの超短パルス発生とこれによる光ファイバ中のソリトンパルス励振は基礎と応用の距離を大幅に縮めた(中沢正隆ら²²、劉海峰ら²⁹)。超短パルスの評価法には2次高調波発生による自己相関法が標準的であるが、さきに干涉効果を取り入れた、より情報量の多い相関法が開発され、半導体レーザー等の分散測定に威力を発揮している(長沼和則¹¹)。

1.1.5 光カオスの制御

レーザーは強い非線形系であるために種々の自己組織特性や不安定性を示すことがよく指摘されてきたが、 T_2 緩和時間の短い炭酸ガスレーザーにおける自励発振からカオスへの発展の追跡(立川真樹⁸)はレーザー系のカオス関連現象が制御可能となることを予感させるものであった。さらにこれを上回る制御性向上の工夫がドイツ^{10, c}によって試みられ、カオス系が光情報処理に役立つ可能性を示した。コンピュータへの光技術として非線形素子導入の要請が光ニューロコンピューティングの専門家達によって論じられた(久間和夫^{a-1}、石川正俊^{a-11})。

1.1.6 光運動量による物質の制御

光のもつ運動量を利用して物質を浮かせる試みが進展してほとんど停止した分子群を作ったり、超高分解分光の進歩に寄与したことはよく知られているが、メタステーブル状態の原子をトラップできたことからわが国のこの分野も世界のフロンティアに列するようになった(清水富士夫)。同グループでは本年度さらにネオンの同位元素の分離を実現している²⁸。トラッピングに関する理論的、実験的研究のまとめ(池上健^{a-8})および生体微量物質にたしてピンセットの役割をはたすレーザーの応用(佐藤俊一ら^{a-8})が解説されている。

結びに代えて、最近出版された単行書に古典光学と現代の光工学との結び付きを念頭においてまとめた鶴田匡夫著『応用光学上, 下』(応用物理学会発行)があり、光学の研究、教育の現代化に大きく寄与するものと思われる。同様の意味で量子光学のフロンティアと次世代の応用光学とが有機的に結び合わさったテキストブックの出現が望まれる。(東大工 神谷武志)

1.2 量子光学, 非線形光学

1.2.1 共振器による自然放光の制御

量子光学分野の話題の一つは、マイクロ共振器による

自然放出光の制御である。本年になって、いくつかの研究機関から発表があいついでいる。分布反射器で一次元のマイクロ共振器を形成し、共振器内 GaAs 量子井戸からの励起子発光強度が、半波長共振器中で 1/30 倍に抑圧され、一波長共振器中で 130 倍に増強された^{a-8, b-9)}。フォトルミネセンス強度の時間変化からも、微小共振器による自然放出光の増強が確認されている^{a-8)}。さらに、共振器長が一波長の半導体量子マイクロレーザーにおいて、キャリア寿命時間の測定から自然放出光の制御効果が検討され、さらにレーザーしきい値以下で 16 Å, 発振時 3.5 Å のスペクトル幅が得られている²⁾。また、マイクロ共振器中の色素溶液からの自然放出光の発光スペクトル幅が 3 nm 程度に狭くなるとともに、ピーク出力が約 40 倍大きくなることが確認された²⁾。レーザー発振モードへの自然放出光の結合の上昇はみられたが、発振しきい値の消失はみられず²⁾、以前報告された結果とは異なっており、さらに詳細な検討が必要とされる。

以上は一次元構造であったが、三次元モデルを用い、自然放出光係数 C が求められた⁹⁾。自然放出光スペクトル幅 $\Delta\lambda$ が共振器帯域幅よりも小さい場合、自然放出光が限られたモードに集中し、 $\Delta\lambda < \text{数 } \text{\AA}$ で、少数の数モードしか存在しない場合、 $C=1$ となることが示された。

マイクロ共振器をもつレーザーでは、発振しきい値がなくなり、きわめて高速の応答が得られることがレート方程式を用いた解析により示されており¹⁾、今後、微小(またはゼロ)しきい値半導体レーザー等のデバイス化を含め、進展することが期待される。

1.2.2 第2高調波発生

LiNbO₃ を用いた半導体レーザーの第2高調波発生(SHG)の研究が盛んになっている。チェレンコフ放射型位相整合を用いた SHG 用高効率光導波路の設計¹⁾、周期ドメイン反転による疑似位相整合¹⁾ および共振器型素子による高効率化¹⁾等が検討されている。共振器型構成では、KNbO₃ のモノリシックリング共振器を用いて、GaAlAs 半導体レーザーの波長 856 nm, 105 mW 入射光が、41 mW の 428 nm 青色光に変換されている¹⁻⁵⁶⁻²³⁾。さらに、短光パルスによる高効率化も進んでおり、可飽和吸収体を共振器内にもつ半導体レーザーを利得スイッチングすることにより、ピーク出力 1.23 W の光パルスを形成し、ピーク出力 7.88 mW の青色光が得られている¹⁻⁵⁶⁻²³⁾。

1.2.3 3次元非線形材料とデバイス

半導体ドーピングガラスを代表とする比較的新しい材料の研究が、高速応答が可能な3次の光非線形(おもに光入

力による屈折率変化)材料の実現をめざし活発になっている。半導体ドーピングガラスは、次世代産業基盤技術研究開発の一つのテーマになっていることもあり、多数の報告がなされている²⁾。CdS や CdSe 微粒子を SiO₂ や Al₂O₃ ガラスマトリクス中に入れたものを中心とし、GaInAs, CuCl, および CuBr の検討もなされている。作製法も、従来中心であった溶融冷却法に加え、スパッタ法やゾル-ゲル法の検討も行われている。粒径と量子サイズ効果による吸収端シフトの対応や、励起子効果に関する検討が詳細になされている段階であり、まだ光非線形特性に関する報告は多くない。ゾル-ゲル法¹⁾ やスパッタ法¹⁻⁵⁷⁻²³⁾ で作製された半導体ドーピングガラスでは、従来溶融法で作製された試料で見られた、フォトダークニング現象が見られない等、今後の発展が期待できる結果も示されている。

3次の光非線形媒質として、半導体レーザーを用いた研究も活発に続いている。半導体レーザー増幅器中の非縮退4光波混合において、1 THz の離調においても、信号光の発生がみられ、高速の光非線形過程が含まれていることが実験的に示された²⁾。また、バンド内緩和過程によって生ずる非線形効果の、バンド間遷移による効果からの分離も検討された⁹⁾。数十~170 GHz (用いられた実験系の測定限界)の離調範囲でバンド内緩和効果が見られた。光双安定素子等、半導体レーザーをベースとした光非線形デバイスの応答速度はキャリア寿命時間でほぼ決まり、数 GHz~10 GHz が限界とされてきたが、より高速で動作するデバイスが実現するかもしれない。

一方、3次の光非線形効果を用いたデバイスとしては、InGaAs/InAlAs MQW エタロン¹⁾や、CdSeTe ドーピングガラスエタロン¹⁾を用いた光ゲートが報告された。半導体レーザーの光非線形性を用いた光双安定素子では、電圧リセット法により、5 GHz の双安定動作が確認された⁹⁾。また、双安定レーザーの光入力によるセット・リセット動作等の理論検討²⁾も進んでいる。

MQW を可飽和吸収体として用いた半導体レーザーのモード同期により、高出力短光パルス(0.46 ps 幅, 70 W ピーク出力)の発生も可能になっており¹⁻²³⁾、光非線形デバイスは高速化を軸としてさらに発展が期待される。(山形大工 河口仁司)

2. 結像素子・光学機械

1990年のこの分野は、昨年同様、微小光学素子を中心として活発に展開された。

1985年頃から非球面プラスチックレンズ、および非

球面ガラスモールドレンズは光ディスク用ピックアップレンズの分野ですでに量産、実用化されている微小光学素子の代表例であるが、今後光学系の集積化による光コンピュータ技術、光応用計測への適用等を考慮したとき、よりいっそうの光学系の小型化のための微小光学素子のニーズは限りない。そのような状況において1990年度はとくにマイクロフレネルレンズの実用化研究、ゾーンプレート、グレーティングレンズの結像理論および特性評価等、理論から評価、実用化研究まで広範に発表がなされた。

一方、光学設計の分野でも昨年は光学シンポジウムで特集が組まれ、魅力あふれる発表が多数あった。

本章では、光学設計、微小光学素子、その他の光学系、に大別し昨年1年間を振り返りたい。

2.1 光学設計

光学設計の分野では昨年は第15回光学シンポジウムで特集が組まれた。筆者も出席したが、光学設計の最近の動向³として、'90 International Lens Design Topical Meetingの報告講演があったことも影響してか、非常に盛況であった。この報告のなかで特筆すべき点は光学設計ツールの動向、とくにエキスパートシステムおよび自動設計法等ソフト面での研究が活発であったことである。自動設計法については、国内の発表で任意の初期値より最適解を探索する研究¹も行われており、今後の発展を期待したい。発表内容は光ディスクレンズから写真用ズームレンズの設計にいたるまで豊富であった。光ディスクレンズ関連の発表ではその結像において重要な正弦条件について厚肉単レンズの正弦条件³とレンズデータの関係を明らかにした研究は今後の設計に大いに参考となる。また最近のプラスチックレンズの普及に伴い環境温度変化によるレンズの性能変化が話題になっているが、光ディスク用完全アプラナティック単レンズ³の温度依存性についての解析はレンズスペックを検討するときの参考になる。1眼レフ用ズームレンズの設計研究として小型軽量化に効果が期待できるダブルテレフォトタイプの設計³では新構築のズーム近軸解の解析手法が実際の製品設計に適用されている。最近の自動設計中心のレンズ設計業務においてズームレンズはまだまだこのような解析的手法が適用できることを示した好例である。さらに実際にレンズを設計する際、通常、収差係数および光線収差という数値の補正を行うが、これら数値から実際の結像状態を想定するにはかなりの経験を要する。収差図形の新しい表示方法³はこのギャップを埋めるのに有効であろう。

2.2 微小光学素子

1990年度のこの分野においてマイクロフレネルレンズ(MFL)の発表が昨年同様、活発に行われた。MFLは、機器の小型化を主目的として製品化され始めている。そのため量産性を考慮した2P法のような複製の容易なMFLの開発研究によるレンズのアレー化¹をさらにすすめて複数個の電鍍金型による均一な光学特性をもつレンズ加工法が開発された¹。MFLを用いた光デバイスの代表例としてMFLと光源の一体集積による小型のコリメート光源の開発がある。光源として一つは半導体レーザー(LD)を利用したもので、従来は実装時の出射波面についての研究等がなされていたが今回はレンズの開口数(N.A.)と出射効率の解析が行われた¹。この結果、N.A. 0.45以上で80%の効率を得られている。もう一つは可干渉性の低いスーパーレミネセントダイオード(SLD)との一体集積である。この温度特性についてビーム形状と出射方向の変化について評価されており、20~60°Cの範囲で安定した結果が示されている²。さて、MFLのアレー化については前述したが、MFLアレーを用いると複写機等のOA機器光学系の小型軽量化が可能となる。そういった意味で、MFLの結像特性を解像力チャートで評価した試みは非常に面白い²。その他、低波面収差MFL²、短波長用MFL²等の新しい試みも紹介されている。いずれにしてもMFLは製法から応用まで広い範囲にわたって発表があり、製品化への意欲が伺える。

グレーティング素子についても電子ビーム(EB)描画装置の活用により、さまざまな応用を目指して研究が行われている。多層レジスト法による高アスペクト比グレーティングの作製¹では周期1 μm 、高さ2 μm のブレード形グレーティングの開発に成功している。また、従来、小型化が困難とされていた凹面グレーティングの代わりに、平面基板上にEB描画により作製した集光グレーティングを用いることによる分光光学系の小型化を実現した研究もある¹。グレーティングレンズの研究では、2枚構成のグレーティングレンズにより波面収差のRMS値が0.07 λ 以下の条件で $\pm 20\text{nm}$ の波長変化で $\pm 20\mu\text{m}$ 程度の焦点移動量を達成した焦点可変型グレーティングレンズが試作された¹。また回折効率の研究として表面レリーフ型格子の回折効率の研究¹、斜入射用反射形回折光学レンズの回折効率の研究²などがある。さらに光磁気ディスクヘッドの小型軽量化を目的とした偏光分離機能をもつグレーティングレンズが試作されている¹。その他、特徴ある微小光学素子として、プラ

スチック光ファイバーと可視 LED との高效率結合のためのロッド状非球面レンズの研究² やシングルモードファイバーの出射光をコリメート光にするための非球面レンズの研究² 等の報告があった。また光ディスクの新しい誤差信号検出としてプレスガラスにより一発成形した複合素子を用いた新しい検出素子、検出方法にかんする報告² があったが光学ヘッドの組立て調整工程の工数削減に有効であろう。

2.3 その他の光学系

その他の光学系として、ホログラム関連技術が目をついた。基礎的な検討として、ホログラム結像系の色収差計算に関する報告² があった。ホログラム結像系の初期収差の設計に有効であろう。応用研究としては、ホログラムスキャナーの最適化設計¹、計算機ホログラムによる $f \cdot \theta$ レンズ¹、波長比制御法を用いた直線走査ホログラムスキャナー¹ など昨年同様、スキャナー関連の発表が目だった。このほかにホログラムは用いていないがスキャナー関連技術として縮小拡大機能を有する 2 ビーム走査光学系¹に関する発表も目を惹いた。

2.4 まとめ

以上、昨年度の結像素子、光学機械の分野について概観したが、種々の微小光学素子とその目標とする製品分野を明確にして応用研究段階にはいっているようである。今後これら新しい光学素子およびその搭載されたオプトエレクトロニクス製品の発展を期待して終りとしたい。(コニカ 松丸 隆)

3. 光応用計測

3.1 光応用計測一般

光計測法も少しずつ進歩がみられる。これに大きな貢献をしているのは、最近進歩の著しい新素子であろうと思われる。とくに光源としては半導体レーザーであり、空間変調素子としては液晶素子である。半導体レーザーの注入電流を変調して変位、速度や分光などの測定をする計測装置が盛んに研究されている。液晶素子は光強度変調素子としての利用だけでなく、光の位相変調素子としての利用がめだつ。これらの素子を用いることにより計測装置の小型化や簡便化が加速され実用にさらに近づくことになる。ゼーマンレーザーを用いた研究は多少みられるが、従来よく使われてきたピエゾ素子や超音波素子を使った研究がほとんど皆無になってきた。これは光の強度・位相変調が半導体レーザーや液晶素子を使うことで手軽に行えるようになってきたためと思われる。また計算機(デジタル処理)もレーザーや CCD カメラな

どのような要素部品の使い方になってきており、光計測専用的高速処理装置の可能性も示された。

3.1.1 干渉計測

半導体レーザー(LD)の波長を制御する方法としては鋸歯状波と正弦波で変調する場合とに大別できる。不等光路長干渉計で波長を線形に変えると干渉縞の位相が変化し、位相シフト法やヘテロダイン干渉法が使える。とくに検出信号の低周波成分を LD の変調信号に帰還をかける能動干渉計ではシステムが安定し¹(フェイズロック干渉計)縞の位相シフトが正確に行える。また 2 波長を使い干渉計の感度を等化波長に落とす場合では、従来各波長で縞検出が行われていたが、二つの LD の位相変調方向を逆にするにより、撮像素子 1 個で従来の位相シフト法の計算が使える方法²が提案された。さらに LD の変調量を大きくするとともに、縞に空間的なティルトを与えると、時間・空間にティルトが導入された干渉縞が得られる。これを時空間でフーリエ変換することによりそれぞれを分離して求めることができ、多重干渉計による多現象の同時計測²が可能となる。

このような手法が偏光干渉計¹にも応用された。LD を直線的に電流変調したときの検出ビート信号の周波数は、干渉計の光路差に比例するので、周波数解析することによりたとえばファイバー長を数 mm の精度で測定できる¹。また LD を正弦波変調した場合では検出信号のパワーを測定することにより数 μm 以上の変位・形状が測定できる²。その他 LD を用いたヘテロダイン干渉法の応用としては、回折格子の移動量測定¹、フィゾー型光ファイバー干渉計¹や戻り光との自己ミキシングを用いた変位計²などがある。また LD を二つ用いた疑似白色干渉計¹や、能動干渉計をカオスの発生に使うことなどがある^{1,2}。

位相シフト干渉計としては、液晶素子を位相シフターとして用いた共通光路干渉計や²、ホログラフィー干渉計による歯車形状の測定などが行われ²、数ボルトで 2π の位相差がつけられるのが特徴である。また、ダイソン 2 重焦点レンズと LD を用いた偏光干渉計による形状差測定¹や、偏光干渉計で三つの位相の異なる干渉縞を 3 個の CCD で撮像し、デジタル信号処理により TV レートで位相を求める方法²などが提案された。

フーリエ変換を用いた縞解析の応用としては、多重偏光干渉計によるティルトのある干渉縞から各偏光方向を分離して複屈折測定²を行う方法や、三つの干渉縞を用いて正味の屈折率測定²を行う方法などがあった。

また、非球面形状測定では、トロイダル面形状を縞の

フーリエ変換法で求めたり¹, 三角法による測定ではビーム径や位置検出の改善を行って高精度化が行われた¹. さらに, 干渉図形と実座標との対応づけの誤差解析¹が行われた.

ゼーマンレーザーを用いたヘテロダイン干渉計の応用としては, 磁性流体を用いた磁場センサー¹, 赤外領域での複屈折測定¹, 微小角変位測定¹, 横ずらしによる面形状測定²などがある.

測距測定としては, 2色干渉計による大気屈折率変化の測定¹やその自動補正法の提案¹があり, また色素レーザーの5波長とヘテロダイン検出を用いると0~10mmを16nm程度の精度で絶対測長することができた².

3.1.2 スペックル

スペックル計測でも新素子の利用が進んでいる. 位相シフト法を用いたスペックル干渉計では, 位相シフターとして液晶素子や², LDの変調¹などが用いられた. スペックル写真法では, 液晶素子をヤング縞の強度空間フィルターとして用いて縞間隔・方向が自動測定された^{1,2}. また, 液晶素子をスペックルグラムとして用いる場合には, 撮像する物体の粒子密度が検討された¹. スペックル相関法では, スペックル像を2値化するために光RAMを使い, 二つの液晶素子でフーリエ変換することにより相関を求めている². また空間変調管を用いた実時間天体スペックル干渉計が検討¹された. スペックルの相関を直接計算する場合には, 相関ピーク位置の内挿により分解能が向上した². スペックルを用いた表面粗さ測定では, ダイヤモンド切断面を1nm以下で測定でき², また2重回折光学系を用いて縦と横方向の粗さが分離測定された².

3.1.3 モアレ・格子投影応用

実格子モアレを用いた形状測定では, 照明方向と観察方向を変化させてモアレ縞の位相シフトを行い, 1/100縞程度で測定を行うことが検討された¹. また, カラー格子と3CCDを用いた実時間形状測定装置²が提案された. その他, 格子投影による光沢面の平滑度測定が行われた².

3.1.4 光ドップラー

速度測定でもLDの応用が進んでいる. LDの周波数変調と物体光との自己ミキシングによる2次元速度計¹が提案され, 光CDピックアップの150nm程度の振動振幅が測定された². またLDアレイにより多点流速測定が行われた². さらに偏光を用いてドップラー信号の正弦・余弦信号を作り, それらの逆正接を計算することによる変位(粒子位置)・速度計²が提案された.

3.1.5 新顕微鏡

光計測手法を応用した新しい(機能向上した)顕微鏡の研究も盛んである. 光ファイバーの先端をとがらせ100nmの開口を作ったフォトン走査トンネル顕微鏡の試作結果¹が報告され, これを原子1個ずつ操作して単原子結晶膜を作る方法²の提案があった. また, 光ファイバーヘテロダイン干渉計が原子間力顕微鏡のカンチレバーの変位・振動測定²に応用された. 共焦点型レーザー走査顕微鏡では, 二つの検出面を用いることにより深さ方向の情報を同時に得る²ことや, 落射位相差法を用いて段差1nmの凹凸判定²が可能になった. その他, 偏斜照明光学系とCTの手法を用いて3次元の位相分布測定¹や, 表面プラズモンによる光導波路の屈折率分布測定²が行われた.

3.1.6 その他

水準面を正確に測るため, 光ビーム位置計測²が応用された. また, ビーム形状を簡単な複数のスリットで高速に行う方法²や, ビームスポットの形状から光ピックアップレンズの各収差量の定量的計算法²などが提案された. 非破壊検査では, 磁気ディスクからの回折光を3方向から受けて, 傷やスクラッチ, 洗浄むらを検査¹された. また, 斜入射レーザー光のS偏光のみが反射されるのを利用し, 透明膜の面形状を光切断法により0.15 μm 程度の精度で測定²された.

光計測システムは新素子やデジタル信号処理法の進展により, 小型・軽量・高精度・高速・多機能化が促進されるが, 各測定システムに最適な計測アルゴリズムの研究が進展することを期待する.

(東京工芸大 中橋末三)

3.2 光ファイバ応用計測, 光応用測定器

光ファイバセンサーの分野で最も注目されるのは, 光ファイバをセンシングヘッドとして用いるフォトンSTM(scanning tunnelings microscope)¹⁰である. 先鋭化された光ファイバの先端部はサブミクロンの開口を残して金属膜が被覆されており, 試料の横方向の測定分解能を向上させている. また, 光の強度は開口からの距離とともに指数関数的に減衰するため, 試料の垂直方向の測定分解能も高くなる. フォトンSTMは測定装置としてだけでなく, 単原子レベルでの結晶成長装置としての可能性も提案されている². これは, ファイバ先端部からのエバネッセント光の勾配力で原子をトラップして, 所望の場所に移動させた後にエバネッセント光をオフにして原子を基板に吸着させるというものである.

フォトンSTMは, このような波長以下の分解能をも

つ測定器あるいは“原子ピンセット”として今後の成果が期待される。

光ファイバジャイロに関しては、干渉型ジャイロが実用段階に入りつつあり、宇宙科学研究所のロケットに搭載して性能評価が行われ、また宇宙開発事業団が1991年に打上げ予定の次期宇宙実験用ロケットの慣性センサーパッケージの角度、角速度検出用センサーとして搭載が決定している¹²。光ファイバジャイロの種々の誤差要因に対する対策も着実に進み、 $0.007^\circ/\text{h}$ という高精度化が達成されている⁹。干渉型ジャイロの光源には、時間的にはコヒーレンスが低く、空間的にはコヒーレンスが低い SLD (super-luminescent diode) が用いられる。SLD の可干渉距離は、発光スペクトル幅に逆比例する。したがって、より低コヒーレンス化するためにバンドギャップエネルギーがわずかに異なる2個の活性層を積層した構造 (STAC: stacked active layers) が提案され、従来の SLD に比べて約2倍以上の発光スペクトルを有する新たな SLD が実現されている⁸⁻¹⁰。このような低コヒーレンスの光源は、干渉型ジャイロのみでなく、種々の干渉型センサー、とくに光導波回路やバルク型光回路の障害点、散乱点や反射点を高分解能で測定する OTDR¹¹ (optical time domain reflectometry) においても重要である。また、Er ドープファイバをインコヒーレント光源として用いることも検討されている⁹。

一方、受動共振型光ファイバジャイロに関して、ノイズ要因に対する対策が着実に進められている¹³。さらに構成部品としてフィネス 1,000 以上の偏波保持ファイバリング共振器、スペクトル幅数百 kHz の半導体レーザー等も報告されており、受動共振型光ファイバジャイロの高性能化を担っている。¹

光回路の特性評価法として OTDR がよく知られているが、光波コヒーレンス関数を合成することによって高分解能なリフレクトメトリーを実現する OCDR¹¹ (optical coherence domain reflectometry) が提案されている。これは、半導体レーザーを光源とする場合、広帯域にわたって周波数変調が可能なることを利用するもので、光源のスペクトル形状に対する測定対象からの反射戻り光の変化を測定し、適当な処理を施すことによって測定対象の回路解析を行うものである。

光ファイバを計測に用いる利点は、偏光、コヒーレンス等の光特有の性質を利用できることその他に、光ファイバが軽量、無誘導、低損失であることにある。光ファイバ自身にセンサーの役割を担わせる場合、光ファイバに鉛をドープして電流に対する感度を向上させたり²、Nd

や Er 等の希土類元素をドープして増幅特性をもたせたり、あるいはファイバの先端形状を加工して現体の濁度を計測する² 等種々の工夫が行われている。さらに、圧電性高分子を被覆した光ファイバによって位相変調器を作製し、光計測システムの全ファイバ化を図る試みもなされている¹。光ファイバセンサーは、それ自身がセンサーになるということは、逆にいえば測定量以外の外乱の影響を受けやすいことを示している。このような欠点を克服するために、2本の複屈折光ファイバを利用してその遅軸間および速軸間で2重のマッハ-ツェンダー干渉計を構成し、外乱の影響を相殺したファイバセンサーが提案されている¹¹。

光ファイバセンサーの特徴として分布センシングが可能なることがあげられる。とくに、ラマン散乱光を利用した分布型温度センサーは電力ケーブルの温度モニター、火災検知システムなどに応用が期待されている。分布型温度センサーのより高精度化、長距離化をめざして LD 励起固体レーザーを用いた検討が進められ、 $1.0\mu\text{m}$ の光源を用いた場合、距離分解能 1 m、温度精度 $\pm 1^\circ\text{C}$ 、 $1.32\mu\text{m}$ を使用した場合 10 km の長距離測定が可能であることが示された^{11,14}。光ファイバ中の非線形光学効果の応用としては、BOTDA⁸ (brillouin optical-fiber time-domain analysis) もあげられる。BOTDA は最初損失分布測定法として提案されたが、ブリルアン周波数シフトが光ファイバ中の歪に依存することが明らかにされ、歪分布も測定できることが示された。また、ブリルアン周波数シフトの温度依存性に関しても検討されており⁸、歪センサーとしては温度変化の影響は小さいこと、逆に温度センサーとしての応用も可能なことが明らかにされている⁹。

以上 1990 年の光ファイバ応用計測分野の進展に関して概説した。今後の展望としては、光通信方式に対して大きなインパクトを及ぼした Er ドープファイバが、光ファイバセンサーの分野に対しても大きな影響を与えるものと考えられる。(NTT 光エレ研 岡本勝就)

4. 光情報処理

4.1 概要

光情報処理分野における 1990 年のおもな動きとしては、光関連の周辺技術にともなうホログラム技術の進歩、液晶表示素子をはじめとする空間光変調素子を用いた種々の光応用システムの作成、光コンピューティング関連研究の活発化があげられる。とくに、光コンピューティングでは、神戸で開催された国際会議 OC '90 が

きっかけとなり多くの分野で精力的な研究が行われた。光コンピュータに限らず、光応用情報処理技術の今後の発展が大いに期待される。

4.2 画像形成

ホログラムに関する研究は、3次元画像表示技術としての実用を強く意識したものが多く行われた。ホログラム用記録材料として、各種の高分子材料の特性・性能が評価された^{1,2}。液晶表示素子による計算機ホログラムの直接表示¹や記録画像を表示した上で光学的にホログラムを記録するシステム¹が開発された。とくに、レンチキュラスクリーンを利用した3次元プリンター^{1,2,3}は新しい3次元画像出力技術として今後の発展が注目される。一方、エバネッセント波を参照光にしたホログラム^{1,2,5}はコンパクトな表示素子として新たな応用が期待される。また、自然なカラー再生像を得る目的でリップマン型ホログラムについての検討も行われている^{2,5}。

4.3 画像処理

画像処理に関する研究では、シミュレーティドアニメーションあるいはニューラルネットワークの考え方を積極的に利用する方法が医用画像処理を中心に成果をあげはじめている^{1,2,5}。とくに、シミュレーティドアニメーションを光学的に実現しようとする試み^{1,5}は光情報処理の新しい可能性を示すものとして注目される。一方、空間光変調素子の進歩にともない、マッチドフィルタリング、ジョイント変換相関器などの各種の光・電子複合型処理系が作成され、その動作が確認された^{1,2,5}。残念ながら素子性能の点で実用レベルには至らないが、具体的な応用システムの提示により素子性能向上のための研究が急速に進むことが期待される。また、光ヘテロダイナ検出法を応用した分光計測法が生体分光CT像合成に成果をあげている²。

4.4 光コンピューティング

光コンピュータ開発を大きな目標として、光機能素子、光演算要素技術、光回路構成、システムアーキテクチャ、応用アルゴリズムなどの分野で活発な研究が行われた。光機能素子としては、差動型光スイッチ^{1,2}やビーム偏向に基づく光論理素子^{1,2}が開発されその応用が示された。空間光変調素子では、強誘電性液晶をはじめとする各種液晶素子の開発^{1,2}、研磨あるいは薄膜化によるPROM素子の改良¹などが行われた。素子機能の面では、ニューラルネットワークへの応用に適した中間調を表示できる素子が開発された²。また、学習機能をもつニューラルネットワーク用機能素子の開発も精力的に行われた^{1,2}。

光演算要素技術では、2光波混合に基づく光増幅の研究が活発に行われた。材料としてBSO, BaTiO₃, GaP, LiNbO₃:Feなどを用い、素子特性の測定をはじめ、高速応答、選択増幅などの応用が検討された^{1,2}。一方、光回路構成法としてOC'90でAT&Tベル研究所から発表されたプレーナ光学系の概念^{1,76-5,14}は、光コンピュータ実現への一つのブレイクスルーとして注目される。また、マイクロレンズアレイをもとにした複製結像光学系は拡張性とみ、新しい光学系構成法として期待される^{1,2}。

デジタル方式の光コンピューティングでは、複数の論理ゲートの組合せによる光回路の構成が試みられた。光機能素子を直列に接続し、データの並列伝送が確認された²。また、デジタル並列光演算システムのアーキテクチャとして、再帰型、共有メモリ型、モジュール化分散型などの方式が提案され、演算能力が評価された²。アナログ方式の光コンピューティングとしては、ニューラルネットワークに基づく方式が圧倒的に多く、各種のニューロモデルによる光連想メモリの提案やその光学的検証が数多く行われた^{1,2,5}。とくに、学習機能の実現に多くの努力がなされ、専用チップの開発をはじめ、種々の光学系による実現法が報告された。

光コンピューティングの応用としては、デジタル方式による浮動小数点演算、並列推論機構の実現、データフロー演算が検討された^{1,2}。さらに、ニューラルネットワークとデジタル処理系を融合させた知的な連想メモリシステムが提案され、評価された²。従来のニューラルネットワーク処理の欠点を補う方式として、今後の研究の進展が注目される。(阪大工 谷田 純)

5. 画像表示

液晶を中心とするフラットパネルディスプレイの材料合成とデバイス開発に進展が見られた。

国内では、春秋の応用物理学会講演会における表示素子・方式の分科では液晶関連を中心に電気泳動、ECに関する発表が、液晶分科では強誘電性液晶を中心に、有機電子機能材料・デバイスの分科では有機ELに関する発表が多かった。秋季には、将来を先取りして新画像システムに関するシンポジウムも開催された。

国外では5月に米国ラスベガスでSID国際シンポジウムが開催され、高分子分散液晶(PDLC)を使った投射型ディスプレイの発表が脚光を浴びた。9月にオランダのアムステルダムでユーロディスプレイ'90が開催され、ここでも、わが国の15インチ型フルカラー液晶ビ

デオディスプレイパネルとカラーグラフィックパネルの展示に参加者が目を見張った。

液晶の分野では、10月に広島で第16回液晶討論会が、国外では7月にカナダのバンクーバーで第13回液晶国際会議が開催され、材料合成、基礎物性から表示素子の開発まで多くの研究成果が発表された。

5.1 液晶ディスプレイ (LCD)

最近の高分子/液晶複合膜は PDLC あるいはスポンジ状高分子中に液晶が連続して広がっているとしてポリマーネットワーク液晶 (PNLC) と呼ばれている。電圧印加による光散乱-透明の状態変化を表示に使うこの方式は偏光板を使わなくて済むが、駆動電圧が高くて精細画像の表示に不向きとされてきた。しかし、旭硝子はこれを TFT で低電圧駆動して投射型ディスプレイを試作した。TFT の欠陥は見えるものの、100:1 の高コントラストと 1,850 cd/m² の高輝度で注目を浴びた¹⁵。SID では PDLC セッションが今回新たに設けられ、計6件の発表がなされた¹⁵。国内でもメモリ効果やポリマーバインダーの表示特性への影響¹、カイラルネマチック液晶との複合膜¹⁶、電圧を加えて液晶分子を整列させたまま固める試み等の報告がなされた²。液晶討論会では、PDLC に関する発表が10件と特別講演が1件あった¹⁶。

強誘電性液晶 (FLC) では材料の合成と層構造解析や配向制御に関する報告が多かった。高品位表示の実現を目指して SiO の斜方蒸着やポリマーコート面の一方向ラビング等の処理をしても、ツイスト構造やシェブロン構造をとりやすいが、ナフタレン系 FLC は疑似ブックシェルフ構造になり高コントラスト表示が実現しやすいとの報告があった²。配向状態の STM による直接観察の報告が多かったことも '90年の特色であろう。この手法が配向制御技術の進展に役立ってくれるものと期待される。反強誘電性液晶に関しては層構造、配向欠陥の自己修復効果、誘電的挙動、材料についての発表があった^{1,2}。

ネマチック液晶の平行配向セルを2枚重ねることによって波長分散を補償し、白黒表示が実現できるとの発表¹に関連して、2枚同時駆動による高時分割化¹、さらに垂直配向セルの積層による視角特性の改善²、視角特性のシミュレーション²、表示パネルの試作¹⁶の報告があった。ネマチック液晶と2種類のイオン性カイラルドーパントによる新しい高速双安定性表示方式の発表^{17,18}も興味深く、今後の展開が待たれる。

アクティブマトリックス液晶 (AMLCD) では焼き付きの問題や電圧保持率の低下を配向膜の電気的特性と関

係付けた報告があった¹。TFT-PDLC 投影型ディスプレイはこれからが楽しみである。10インチ級の AMLCD ではコスト低減や完成度の向上を目指した開発成果の発表が多かった¹⁵。主流は a-SiTFT から poly-SiTFT と非線形素子に移ってきた¹⁵。

光源の利用率を上げる方法として PDLC を用いる方法の他に、コレステリック液晶板で偏光板と色分離光学系を構成する方法が提案された¹⁵。液晶パネル用カラーフィルターでは、IBM からエレクトロミスト法で作製する方法が報告された¹⁵。国内ではフォトプロセスによる染色法と顔料分散法の他にオフセット印刷による製法も評価が続けられている。ユーロディスプレイ '90では減色カラーフィルターによる STNLCD-OHP のきれいな展示が注目を浴びた¹⁷。

5.2 その他のディスプレイ

国内では春秋の応用物理学会講演会における光デバイスの分科では ZnS: Mn, SrS: Ce, CaS: Eu などを材料とし、青・赤・白色の発光をねらった無機薄膜 EL 素子等の研究発表が53件あった^{1,2}。表示素子・方式の分科では液晶関連を除いて電気泳動2件、EC 8件、有機電子機能材料・デバイスの分科では有機 EL に関して22件の発表があった。さらに秋季講演会では有機薄膜電子デバイスに関するシンポジウムで有機 EL 6件と EC 1件の講演があった。有機 EL では各種発光材料、電荷輸送材料、成膜条件、発光機構・過程の解明、劣化現象、温度特性、有機 (発光層)/無機 (電荷輸送層) 複合構造の提案まで当岐にわたる研究発表があった。そのなかで、Li 合金陰極を用い発光層にクマリンを添加した 10,000 cd/m² を越す高輝度素子の発表が目立った²。

(富山大工 女川博義)

6. 光 記 録

6.1 概 要

光記録の展開は、光ディスクが中心である。オーバーライトを核に高速化の研究は実用化に向け着実に前進している。ハイデフィニッション TV 時代を先取りした光ディスクの高密度化が始まった。各種の短波長光源による従来の近赤外レーザーダイオード光源の置き換えが試みられた。

6.2 光ディスク媒体

光磁気ディスクのオーバーライトには、磁界変調型と光強度変調型がある。磁界変調型には空気浮上型 (浮上量 10 μm) と固定磁界型 (媒体とヘッドのギャップ 100 μm) がある。空気浮上型の場合ヘッドとディスクの摺

動が問題になるが $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 塗膜等の保護膜の検討により前進があった¹⁹.

光強度変調型では磁壁移動の原理にもとづく単層構造媒体と、記録層とメモリ層を交換結合させた多層構造媒体とがある。磁界変調方式に比べて装置が簡単になるメリットがあるが、2層および3層構造媒体の場合は初期化磁界を必要とするためオーバーラットができない第一世代の光磁気ディスク媒体との互換性がとりにくい。一方、3層膜構造媒体についてはオーバーライトパワーマージンのデータ(±20%)が報告された²⁰。初期化磁界が不必要な交換結合4層構造媒体が開発されている¹⁹。一般に、書き込みパワーのマージンがより狭くなる傾向にある。

相変化光ディスクについては報告のほとんどが1ビームオーバーライト可能型に関する。繰返し特性については $\text{GeTe-Sb}_2\text{Te}_3\text{-Sb}$ 系で 10^6 回のオーバーライトサイクルが達成され実用化にむけ進展があった²。

一方、画像記録用の光磁気ディスクでは、ディスクノイズの低減により特性が向上し、1 MHz において再生信号の $C/N=65$ dB 以上の値が報告されている²¹。

6.3 光ディスクヘッド

第一世代の 130 mm 径の光磁気ディスクに関しては、ISO 規格に準拠するドライブが商品化され普及段階にはいり、報告の多くは信頼性の加速環境試験に関するものである¹⁹。開発の重点はより小径の 86 mm に移行している。光学ヘッドについては、可動部重量の軽減によりアクチュエータの広帯域化が図られ、86 mm ディスクでの平均シークタイムは 20 ms 以下の値が得られている²²。今後、オーバーライト技術との組合せで、高速アクセス、高転送速度システムが期待できる。

マルチビーム LD は、100 mW 以上の 4 ビーム LD が報告されている¹⁹。また、4 ビーム LD をデジタル動画記録に応用した報告があった²³。今後、LD の狭ピッチ化、高出力化に伴いよりいっそうの高転送速度が達成されるものと期待される。

光ディスクにおける高記録密度化の試みが、多くはビットエッジ記録によるもので、記録密度 $0.6 \mu\text{m}/\text{bit}$ 付近での録再特性が報告されている¹⁹。また、トラック密度の向上に関しては、隣接トラックからのクロストークをキャンセルすることで倍トラック密度 ($0.8 \mu\text{m}$) が達成されている²⁴。

ホログラム光学素子 (HOE) は、CD 用ピックアップのサーボ信号検出およびビームスプリッターとして用いて、小型・簡素化を図る試みが実用化段階にきている¹⁹。

6.4 短波長光源による光ディスクの高密度化

再生専用光ディスクでは InGaAlP 系可視レーザーダイオード (670 nm)¹⁹、Nd:YAG レーザー SHG 光源 (532 nm)¹⁹ を用いてハイデフィニッション TV 用高精度ビデオディスクが報告された。いずれもキャリア周波数 13 MHz において $C/N=65$ dB 以上が達成されている。光源とディスクノイズの低減が進んだ点が多い。可視レーザーダイオード、Nd:YAG レーザー SHG 光源の relative intensity noise (RIN) は、おのおの、 -130 dB/Hz、 -160 dB/Hz である。KNbO₃ を用いたレーザーダイオードの直接変換 (460 nm) では $RIN=-120$ dB/Hz の報告があった²⁵。SHG 光源はレーザーダイオードをベースとし、バルク非線形光学結晶を波長変換に用いている。これらの低ノイズ短波長光源の開発により現行の 3~5 倍の記録密度 (面密度) の向上が期待できる。(ソニー総研 久保田重夫)

7. オプトエレクトロニクス・光デバイス

7.1 光通信用デバイス

1990 年の光通信用デバイスの研究は、光増幅器やコヒーレント受信光集積回路のときのような華々しいトピックスの発表は一服した感があったが、光増幅器を用いた長距離伝送実験や多波長の波長多重伝送実験など、デバイスの進展に基づいた伝送実験の進展があった。また、各光デバイスの性能向上が地道に着々と行われつつあるという印象を受けた。

ここ数年で急速に注目され始めた光増幅器は、1990 年には第 1 回 Topical Meeting on Optical Amplifiers が 8 月にモンレーで開催され、招待講演を除いた一般投稿だけで 72 件の論文が発表されている。しかしながら、Er ドープ光ファイバ増幅器はすでに技術がほぼ確立されたと考えてよく、励起光源 (1.48 および $0.98 \mu\text{m}$) の高出力半導体レーザーやその他の光部品をも組み込んだ光増幅器モジュールが発表されている²⁰⁻¹。進行波型半導体レーザー増幅器は、導波路を端面に対して斜めに配置し、かつ無反射コートを施すことで端面反射率を 10^{-4} 以下に低減して、利得 30 dB でリップル 0.5 dB 以下が実現された²¹。また、光ファイバアンプに比べて問題とされていた利得の偏波依存性も、単体では導波路コアを厚くして断面を矩形に近づけることによって、また 2 個のアンプを直交配置したり偏波ダイバーシティを用いたりして 0.2 dB 程度まで低減された²⁰⁻¹。

この光直接増幅器は、すでに開発段階を過ぎて伝送実験に使われている。強度変調直接検波方式では光ファイ

パ増幅器を用いて 10 Gb/s, 500 km の伝送²²が、またコヒーレント方式ではやはり光ファイバ増幅器を用いて 560 Mb/s で 1028 km 伝送⁸や 2.5 Gb/s で 2200 km の伝送実験²³が報告された。さらに、光ファイバ増幅器を集中定数的に配置してソリトンを増幅するソリトン伝送方式は 1989 年から提案されていたが、さらに波長多重ソリトンの伝送実験などが報告された⁸。この光増幅器を用いた各種の伝送実験は、今後もより長距離化、高速化のデータ競争が続くと思われる。

昨年は光ファイバ増幅器をガラス光導波路に置き替える試みも報告された^{1,2}。現状では Nd³⁺ をドープした石英ガラス (波長 1.06 μm) か磷酸ガラス (1.3 μm 帯) で、光増幅器ではなく導波路レーザーとして両端面にミラーを付けてデモンストレーションが行われている。また海外においては、Nd:MgO:LiNdO₃ に Ti 拡散した光導波路による波長 1.085 μm の発振も報告された²¹。

高速光通信の要である光変調器は、ますます高速化が進められるつつある。LiNbO₃ 強度変調器は電極構造の最適化による光とマイクロ波の速度整合などによって 20 GHz 以下の帯域が半波長電圧 5 V 程度で得られている^{8,9}。また LiNbO₃ 変調器の問題であった温度安定性は高抵抗膜のコートが以前から提案されていたが、7月のインターオプトではヘアドライヤーで加熱しても動作点が変わらないというデモンストレーションが行われた。高抵抗膜としては従来は a-Si 膜が報告されていたが、さらに燐ドープした SiO₂ も使えることが示された²。これに対して吸収型半導体変調器はすでに光源との集積化が一昨年達成されているが、大信号動作をさせると入出力特性の非線形性のために広帯域化されて 40 GHz 以上の高速動作が可能なが示された²。

半導体光スイッチは、挿入損失と偏波依存性が従来より問題であったが、半導体光増幅器をモノリシックに集積化して挿入損失を 4 dB ほど改善した例が報告された²¹。さらに石英系分岐導波路と半導体光ゲートスイッチをハイブリッド集積化した無損失 1×4 光ゲートスイッチも報告された⁸。

光検出器は GB 積の改善が年々続いているが、In-GaAs-APD の構造最適化によって GB 積 100 GHz 以上が可能との検討結果が報告された¹。コヒーレント受信用のモノリシック光集積回路は、局部発振器と方向性結合器および光検出器をモノリシックに集積化した素子が一昨年 (1989 年) 相次いで報告されたが、昨年は一服した感があった。この集積素子をさらに偏波ダイバー

シティや位相ダイバーシティに対応させるには偏光ビームスプリッターや 90° ハイブリッドなどを集積化しなければならないが、そのためにはもう少し時間がかかると思われる。ただ、バランス型光検出器のモノリシック集積化は昨年は 2 素子や 2 素子×2 組 (偏波ダイバーシティ用) が相次いで報告され⁹、導波路型方向性結合器とのモノリシック集積化も報告された⁰⁻⁸。

コヒーレント受信器に必要な導波路型デバイスのうち偏波ダイバーシティの実現に必要な導波路型偏光分離素子は、MQW の無秩序化を用いた素子の高性能化⁹や半導体方向性結合器によるチューナブル型²、石英系導波路の複屈折制御技術を用いたチューナブル型²、LB 膜を用いるもの²、屈折率の大きく異なる二つのコアを重ねた 2 重導波路型²²、など発表が相次いだ。今後はこれまでのコヒーレント受信集積素子へのモノリシック集積化が課題であろう。

コヒーレント受信技術を使わずに狭間隔波長多重 (あるいは周波数多重) を実現するには狭帯域フィルタが必要不可欠であるが、石英系光導波路のマッハツェンダー型チューナブルフィルタを 7 段用いて 10 GHz 間隔で 128 波の偏波無依存狭帯域フィルタ⁰⁻⁶が報告され、さらにこのデバイスを用いて 100 波の狭間隔波長多重伝送実験が報告された²²。また、1 個のデバイスで 10 nm 以上の波長範囲にわたって 0.6 nm の幅でチューニング可能な LiNbO₃ 偏波無依存チューナブルフィルタが報告された²¹。

光集積回路の分野では、光導波路中を伝搬する光のスポットサイズを自在に変換するスポットサイズ変換器が 3 年ほど前から注目され始め、昨年の IPR²¹ では発表が 4 件も相次いだ。半導体光導波路ではスポットサイズを光ファイバほどに拡大することは困難なようだが、ガラス光導波路では変換比 5~6 倍が得られ^{21,2}、半導体レーザーから光ファイバへのスポットサイズ変換がレンズを使わずに光集積回路の中で行える可能性が示された。

光集積回路の基本要素である光導波路については、ガラス光導波路の低損失性を極限まで追求しようという試みが続けられ、SiO₂-TiO₂ 系に替わって SiO₂-GeO₂ 系が高屈折率差にしても散乱損失を低く抑えられることが示された^{22,8}。一般に光導波路の損失を高精度に測定するにはかなりの技術を要するが、この極低損失導波路は 3 インチ基板に曲がり部を含む 40 cm もの導波路を製作して 0.01 dB/cm の低損失を確認している²²。また、ガラス光導波路の新しい製法として、電子ビーム蒸着を用いる方法²やレーザー CVD による光導波路パター

ンの直接描画の試み¹が報告された。

導波路型光デバイスでは、スターカップラの多ポート化と広帯域化が進み、16×16が報告された⁹。今年(1991年)はさらに多ポート化が進むであろう。また、導波路型デバイスをスタンプを押すように簡単に大量生産できる技術として一昨年から2P法が提案されていたが、この方法でさらにグレーティングレンズも製作可能なことが示された^{1,2}。

微小光学の分野では、チップ内の集積化とともにチップ実装の研究が重要であることが指摘され、光表面実装(光SMT)の概念が提案された⁹。

以上、1990年の光通信用デバイスの進展を概観した。今年にはさらに高速化、空間的多ポート化、周波数空間での多ポート化が進展すると期待される。

(横浜国大工 國分泰雄)

7.2 光デバイス、マイクロオプティクス

オプトエレクトロニクスにおける光デバイスは、発光素子とそれとのカップリングを行う光学素子、あるいはその応用としてハイブリッドにしたデバイスや集積化した素子など範囲は広く正確な定義づけはされていないが、いわゆる微小光学素子を中心に取り上げる。

7.2.1 光デバイスの製作と解析

半導体レーザー(LD)用コリメートレンズをLDに実装し、小型の光源を開発する研究が続けられている^{1,2}。マイクロフレネルレンズ(MFL)をLDに実装し、MFLの欠点である光利用効率の低下を防ぐための解析を行い、高出力のレンズ条件を導出している¹。レンズはNAを大きくすれば効率があるが、MFLは球面あるいは非球面レンズと異なり効率が下がる。LDの射出光を楕円ガウシアン強度分布として解析し、NA=0.45で80%の効率が得られることを示している。実装したデバイスの評価の例としては、LEDに実装して温度特性を評価した例がある²。NA=0.25、直径2.4mmのMFLをLEDに実装し、20~60°Cに加熱してビーム形状の変化を測定したところ変化がなかったと報告している。MFLの製作についても継続した研究が続けられている。2P法(フォトリソ法)で良好なマイクロフレネルレンズアレイ(NA=0.25、レンズ径1mm)ができたことを報告し、さらに2P法に必要な金型製作法についても報告している¹。

新しい用途のフレネルレンズとしては、ArFエキシマレーザー用のフレネルレンズの製作がある¹。ArFエキシマレーザーの波長は193nmと短波長であるため、基板として石英が使われている。Cr付き石英基板にレ

ジストを塗布し、EB描画でパターンを作成しこれをマスクとしてCrエッチングする。次にこのCrをマスクとして石英基板をエッチングして作製する。

その他の研究には、フレネルゾーンプレートの研究がある^{1,2}。直交ゾーンプレートがLDのコリメータ、OEICの光遅延回路等に応用できるという提案で、EB描画でマスクを作製しDeep UVリソグラフィーでゾーンプレートアレイを作製し、その2次元スポットを評価している。

素子の理論解析としては、グレーティングレンズの収差解析がある^{4-5, 8, 10}。回折の近似式より収差解析を行ったもので、同心円集光グレーティングカップラの計算に応用している。

7.2.2 ハイブリッド化

グレーティング素子、ホログラフィック素子を従来のレンズ、プリズムなどの光学素子とハイブリッドに組み合わせた応用研究も活発に行われているが、応用例としては光磁気ディスク用のヘッドが多い^{1,2, 19}。主として偏光分離機能をもたせるもので、これらの素子の特徴を考えると、光磁気ディスク用ヘッドへの応用は最適ではなからうか。

反射型のホログラフィック光学素子(HOE)を4分割素子にして、トラッキング、フォーカシング機能をもたせた素子が、CD用光ディスクヘッドとして実用化がされている¹⁹。さらにこのHOEを発展させて検光子機能をもたせ、透過型で光磁気ディスクヘッドに応用する研究開発へと進んでいる。その他のハイブリッドな例として、対物レンズとHOEを一体駆動型にして検出機能を向上させた報告や¹、オフアキシスシリンドリカルレンズと等間隔グレーティングを直交させて偏光分離を行う方式の報告などがある²。

グレーティング素子、ホログラフィック素子の応用研究は古い歴史をもっているが、実用化の観点からみるとその特徴を十分に生かしきれずにいた。近年LDを光源として用いた機器が増加する時代になって、その特徴を生かせる範囲が広がった。今後もLD応用機器の開発とともに、これらの光学素子の実用化への試みが続けられるだろう。

7.2.3 導波路型光デバイス

光デバイスのハイブリッドな応用の次の世代には、導波路型としたモノリシックなデバイスが考えられる。これらの研究は、実用化の点からみるとまだハイブリッドタイプほど進んでいないが、基礎的な研究が続けられている。

導波路型の素子の研究として、電子線描画により作製した超解像導波路型光ヘッドがある²。ビームスポット形状はまだハイブリッドな方式に比べると十分ではないが、今後の進歩が期待される。導波路型の理論解析にはジオデシックレンズの光線追跡を行った報告¹や、導波路型グレーティングカップラの理論計算を行った報告がある^{h-8, h-15}。

導波路型の研究報告は、ハイブリッド型、チップ実装型に比べると少ない。光源と機能素子を一つの基板に作製でき、薄型、小型化の可能性があり、モノリシックタイプのメリットは大きい。今後の研究開発がさらに活発になることを期待したい。

7.2.4 マイクロオプティクス

Gradient index optics の特集が Applied Optics に掲載された^{h-28}。これは '89年に東京で開催された MOC/GRIN での発表が中心となっている論文であるが、gradient index optics の最近の動向がよくわかる特集となっている。

設計理論の分野では Rochester 大学のグループの研究投稿が多く、いろいろな屈折率分布の解析が続けられている。そのほかにはガウスビームの伝搬を求めたものや^{h-19}、球レンズを軸方向 GRIN 平板で挟んだ等倍結像光学系の収差解析報告などがある²。

Gradient index lens の製法は従来からのイオン交換法が中心であるが、溶融塩槽のコントロールの改良^{h-28}、イオン交換を Ag^+ で行う方法など新しい試みもなされている。ゾル・ゲル法でも良好な屈折率分布が得られた報告もある。また、レンズアレイの端面のコーティングをイオンビームアシストデポジションで行った試みも発表されている^{h-28}。

応用例としては GRIN ロッドレンズをカラーイメージセンサーに用いたときのパターンエッジカラーの解析、マイクロレンズアレイのマッチフィルターへの応用、プレナーマイクロレンズアレイのイメージマルチプレクサーへの応用提案、レンズアレイによる変倍方式提案などがある^{h-28}。

媒質の屈折率分布を制御し、新しい結像素子を作る研究は約 20 年前から続けられている。その間の大型成果として GRIN レンズを 1 列または複数列に配列して、等倍結像素子としたデバイスの実用化がある。そのほかは単レンズとした応用はあるが、世の中に大きなインパクトを与えるには至っていない。光通信も含めた分野で次のヒットを期待したい。

マイクロオプティクス分野でユニークな研究会活動

をしている微小光学研究会は、'90年 4 回の研究会を開催した²⁰。第 1 回は光ファイバ増幅器と LD 増幅器、第 2 回は X 線微小光学、第 3 回はバイオマイクロオプティクス、第 4 回はディスプレイと微小光学であった。マイクロオプティクスとは関係がないと思われる分野との積極的な融合を図り、微小光学と他の分野の接点を求め、新しい研究課題を探ろうとする活動は、それなりに評価されてもよいと考える。

(日電光エレ研 小椋行夫)

8. 分 光

分光に関連した項目を大きく分けると、回折格子などの分散素子、各種分光装置、装置の改良を含めた新しい方式の提案、レーザーを光源とした微細スペクトルを取り扱うレーザー分光法などに分けられる。以下、各項目ごとの主だった研究内容について紹介する。

8.1 分光素子

種々の応用のために、分光の分野においても素子の微小化研究が盛んに行われている。多田ら¹(オムロン中研)は、光源の小型軽量化を目的とした多層レジスト法による高アスペクト比回折格子の作製を行い、この多層レジスト方法がアスペクト比の高い回折格子の断面形状制御に有効であることを確認した。一方、分散素子は光通信において必要な信号光のみを通過させるバンドパスフィルタとして重要な役割を演じる。たとえば、光ファイバアンプを用いた光伝送系の構成部品には、信号光のみを選択的に透過する狭帯域フィルタが不可欠である。立蔵ら¹(NTT 伝送システム研)は、重クロム酸ゼラチンを感材に用いたホログラフィック回折格子を提案し、試作した回折格子と通常が多層膜フィルタとの透過スペクトル特性の比較測定の結果、ホログラフィック回折格子のほうが多層膜フィルタよりも裾広がり小さく光通信に適していることを明らかにした。ホログラフィック回折格子に関連した研究として、松田ら^{a-3}(熊本電波高専)は、基本波とその高調波(主に第二高調波を重ね合わせた形状を溝にもつホログラフィック回折格子(とくにフーリエ格子とも呼ばれる)に対し、基本波の振幅および高調波の振幅・位相が回折効率やその偏波依存性に及ぼす影響について理論的検討を行った。他方、従来の分光測定においては波長分散素子として凹面格子が多く用いられてきたが、大きな曲率、分散をもつ凹面格子の作成が困難なため分光光学系の小型化に限界があった。十川ら¹(松下電器半導体セ)は、EB 描画法で平面基板上に作成された集光回折格子鏡($\lambda=400\sim 800\text{nm}$,

$f_1=2.64$ mm, $f_2=30$ mm, 開口 1×1 mm²) を作製し、分光器の小型化を図った。

8.2 分光機器

遠赤外そして、さらに長波長側領域であるミリ波、サブミリ波帯領域は、各種結晶(半導体、磁性体、誘電体)、セラミックス、ガラス、高分子などの特色ある種類の励起が存在するが、その吸収やエネルギー緩和の機構についてはよくわかっていないことが多い。その上、最近の科学の進展に伴い分子生物学、大気物理学、赤外線天文学、プラズマ工学の分野などとも関連して非常に興味をもたれている。したがって、これらの分野での研究進展のためにはより精密な光学定数データを得られる分光器の開発が重要である。阪井ら^{b-12}(阪大工)は、全遠赤外領域を短時間のうちに、S/N比高く、高精度でしかも簡単な操作で測定できるように、できるだけ広い波数範囲($10 \sim 500$ cm⁻¹)を効率よく、しかも2種類のビームスプリッターのみで測定が可能なマーチン・パレット型の高波数側で有効なマイケルソン型を組み合わせた波数精度 ± 0.001 cm⁻¹、分解能 0.03 cm⁻¹ のフーリエ分光器を試作した。また、中島ら^{b-8}(阪大工)は、広い帯域にわたり連続的に材料の複素屈折率の実数部(屈折率)と虚数部(消衰係数)の両方が求められる $75 \sim 110$ GHz 帯および、第二、第三高調波を光源としたマッシュンダー型干渉分光計を製作した。そして、熔融石英、シリコン、KDP、AlN、TPX などの試料を用いた測定は、屈折率が $75 \sim 100$ GHz 帯で $\pm 1\%$ 、第二高調波帯で $\pm 3\%$ の精度で求められることを示した。

一方、物性物理学の分野では透明体のブリルアン散乱実験の分光器として、ファブリーペロー干渉計がよく使われている。しかし、微弱な散乱光を測定する不透明体の表面ブリルアン散乱実験の場合、通常のファブリーペロー干渉計のコントラスト比(一般的には 10^3 程度)では不十分である。吉原ら^{p-1}(東北大科研)は、薄膜、人工格子、磁性体単結晶のマグノンや表面弾性波の研究を目的として、同一のファブリーペロー干渉計を複数回通過させる(マルチパス)方法により、コントラストを飛躍的に改善できるマルチパス型ファブリーペロー干渉計の試作を行った。試作した干渉計本体は、作製が容易な Sandercock 型とし、短時間の繰り返し掃引、さらにフィードバック方式による干渉計の安定化が可能な圧電掃引方式を採用している。そして、ビームの折り返しには通常用いられるコーナーキューブの代わりに高精度直角プリズムを使用して、マルチパス化を実現している。製作した装置を用いた実験において、サファイヤ基板上に

スパッタされた Al 薄膜(膜厚 ~ 200 nm)の表面弾性波スペクトル、磁性薄膜 FeSi 膜のマグノンスペクトルの観測に成功している。

地球の土壌面、植生物、海洋などからの反射光のスペクトル特性を連続的に分析できる航空機・人工衛星搭載型イメージングスペクトルメータは、地球環境の監視方法として非常に有効なリモートセンシング技術の一つである。一般に、イメージングスペクトルメータには、空間解像度、スペクトル解像度が高いことを強く要求されるが、従来の装置(SISEX)では高高度から広い波長範囲を扱うため、色収差のない、狭角の反射シュミット系が使われてきた。この装置は形状が大きくかつ重くなってしまふ欠点があった。寺久保ら^{a-0}(千葉大工)は、反射光学系の代わりに波長 $0.4 \sim 1$ μ m の領域での色収差が十分小さい FKS 51-LaK 31 アクロマートレンズ系をコリメータに使い、また、上記波長範囲内で 2.5° の分散が可能な複合プリズムを用いることにより航空機にも搭載可能な小型軽量イメージングスペクトルメータを開発した。

8.3 新しい分光分析法

高温炉原子吸光法は多種の微量成分を定量できるが、生体試料のように量が少ない場合、一度の原子化で多成分を同時に分析できる装置が要求される。大石ら^{p-2}(日立那珂)は、従来からの固定スリット分光方式とは異なる波長選択が自由な測光方式を提案した。また、試料の原子化装置としてグラファイト加熱炉を用い、多元素同時分析に適した新しい温度プログラムの作製方法も併せて提案した。セレン、ヒ素に対する試作器の検出限界は、米国 EPA の推奨値に近く、通常の単元素分析用の原子吸光分光光度計の感度に近いことが測定の結果示された。この装置は、高感度で多元素の同時分析を必要とする環境医学の分野や半導体製造ラインにおけるシリコンウェハー処理液の不純物分析など広い分野での応用が期待できる。

高分解能分光器の代表としてあげられるエシエル分光器は、遷移金属や希土類元素などが共存する試料中の微量成分分析に使用されている。梅木ら^{p-2}(化学品検査協会)は、エシエル分光器を ICP 発光分光分析に応用した場合のノイズおよび RSD の特徴、検出限界とスリット幅の関係など、最適条件の設定に有用な知見を得ることを目的とした実験的検討を行い、この分光器の場合ショットノイズが支配的であり、その結果 RSD はバックグラウンド強度の小さい短波長できわめて大きくなるが、また、検出限界に対しては、短波長域での

スリット条件の選択が重要であることなどを明らかにした。

8.4 レーザー分光

これまでの超高分解能レーザー分光計は基準となる光共振器の周波数を校正するために基準レーザーを必要としたが、盛永ら¹(計量研)は kHz オーダーの周波数分解能と精度を目標に、FM 側帯波法を用いてヨウ素分子の超微細構造線を検出し、それを基準として光共振器を安定化することを提案し、カルシウム原子ビームを使って光ラムゼイ法により超高分解能分光の実験を行い、線幅 70 kHz、線間隔 140 kHz の光ラムゼイ・フリンジを観測した。一方、酒井ら²(電総研)は、2光子共鳴4光波混合法による連続波長可変コヒーレント XUV レーザー分光法の研究の一環として、色素レーザーによって生成された励起準位 $4p^6 5p^2 p^{3/2}$ から、疑似準安定準位 $4p^5 5s^5 p^4 s^{3/2}$ への遷移に対応する吸収スペクトルを観測することにより、疑似準安定準位を精度よく決定することを示した。

本田ら¹(九大総理工)は、単一のレーザーパルスで原子や分子のスペクトル線プロファイルを瞬時に計測できる RAFS レーザー分光計を現在開発しているが、燃焼や化学反応など過渡的な現象のスペクトル、粒子速度分布、高温プラズマ内局部磁界などへの応用計測を試みている。予備実験として定常火災中の OH 分子の蛍光プロフィールを得た。他方、石坂ら²(東京農工大)は、気体原子分子の共鳴線波長におけるフォークト効果およびファラデー効果を調べる共鳴磁気偏光分光法の微量原子検出限界について、信号および背景光子数のショットノイズの観点から理論的検討を行うとともに、火災中 NaD₂ 線を用いて実験的に検出下限を求めた。そして、実験により得られた検出下限は理論値の約4倍である $N=2.2 \times 10^6$ 個原子/cc と見積もられた。

今城ら²(通総研)は、ペニングトラップされたベリリウムイオンにリング色素レーザーの第二高調波レーザーを照射し蛍光測定を行った。蛍光強度から推定すると約150個程度のイオンが寄与し、線幅からイオン温度が600°Cであることなどを確認した。

(東北工大 浅井和弘)

9. レーザー

9.1 半導体レーザー

9.1.1 半導体レーザー技術の流れ

室温連続発振は半導体レーザーにとって技術の進歩を象徴する道標である。90年は室温 CW 動作がヘリウム

ネオンガスレーザーの発振波長である 632.8 nm に届き始め、かつては半導体研究者の夢であったことを現実のものにした時期である。70年にベル研で林氏らがダブルヘテロレーザーを実現して以来20年の区切りにあたる。その間の最初の15年は通信が技術の進展を牽引し、後の5年はそれに加工、工業計測、OA、民生の諸分野が牽引車として加わり、換言すれば光は産業全般を支える基盤となり始めていることがわかる。すなわち具体例でいえば、光ディスク記憶が780 nm を中心に将来の670~680 nm も含めての大出力、高信頼化、発射光の角度と形状の扱い方の高度化等を促し、加えて固体レーザーの励起、医療や加工の分野がファイバとの結合やディスク面への円形集束の技術ではなく、幅の広い発射端面からの大出力化技術の進展(ブロードエリアレーザー:800 nm 帯でワット級の出力)を促している。

通信分野では半導体レーザーに、波長(光周波数)を情報として扱う分野の開拓に向けたレーザー機能の高度化、10 Gb/s 台での光強度変調のためのいっそうの高速性追求を求めている。また89年から急台頭したエルビウムドープファイバによる光直接増幅のための980 nm レーザー研究が広がり始め、GaAs/InGaAs の歪を制御した材料系で信頼性に関する知見が増えはじめている。ファイバ光直接増幅は光通信発達上で第二の波をつくりだす可能性がある。

また従来の光通信は情報伝送がその機能であるが、伝送を越えた通信技術の開拓を目指して、光による情報通路のスイッチング(交換分野)、光による情報処理の分野における研究の高まりが顕著である。90年春には Photonics Switching '90, Optical Computing '90 が日本初開催となり、半導体マイクロレーザー(面型)の米国における急進展が強く印象づけられた。

以下の各論では上記の分野別認識の背景にある発振波長帯別に見た90年の進展を述べる。

9.1.2 600 nm 帯半導体レーザー

He-Ne 波長にチェーンした領域では637.8 nm, 25°C, 3 mW 出力、しきい値100 mA(東芝)¹、632.8 nm 自体で20°C, 2 mW, しきい値92 mA(日電)²が報告された。パルスバイアス動作であるがさらに短波では601 nm の発光がある(上智大)²。

He-Ne 波長より長波側の670 nm 付近では、すでに初歩的な開発の段階を越え横モードの制御、高出力化、信頼性技術等、製品開発、性能改善が報告される段階になった。屈折率導波型(横モード制御)でAR/HRコートにより50°C, 40 mW, 70°C, 30 mW(日電)²、

MOVPE 成長でなく従来の LPE 成長で 82 mW (パルス) 出力 (上智大)², リッジストライプでしきい値 27 mA, 最高発振温度 130°C (日立)², 平均しきい値 35 mA, 自己発光による端面損傷 (catastrophic optical damage: COD) のレベルが 31 mW にまで改善された横モード制御型リッジストライプレーザーで 10 mW 出力, 1,200 hr の安定動作, 50°C, 3 mW で 1,000 hr の確認 (860 nm) (東芝)², 横モード制御を制御, 端面に発光波長にたいして透明な組成の半導体を被覆した窓構造の利用は, この波長帯の AlGaInP 組成では上記 COD のレベルが低下するという欠点の改善に効果的である。COD 15 mW の素子に窓を付け 80 mW に向上 (東芝)², 窓にさらに AR/HR (無反射/高反射) 膜の被覆により 75 mW の COD レベルを確認 (日電)², S 処理をレーザー端面にも試み COD が約 2 倍向上 (松下)² 等が報告されている。

2 次の回折格子による DFB (分布帰還型) レーザーの試みは 675 nm まで短波化されパルス発振が得られている (上智大)²。さらに, 歪超格子が AlGaInP/InGaP 系でしきい値電流密度 0.6 kA/cm² (波長約 700 nm) としきい値低減に効果的と報告されている (住友)²。

InGaP では自然超格子結晶が成長するというこの材料系固有の知見を受けた進展は, 自然超格子がレーザーの高温過湿動作時に無秩序化することによる発振波長の短波化 (日電)², 自然超格子成長を抑制するためのオフ基板の利用 (日電)², 活性層の自然超格子を無秩序化した窓構造 (日電)¹, に見られる。

InGaP/AlInP 系では電子の overflow が大きいので, 電子に対するヘテロ障壁として MQB (multi-quantum barrier) をクラッドに挿入するという方法 (上智大, NTT)² は示唆深い。

9.1.3 700~800 nm 帯半導体レーザー

光コンパクトディスクは 780 nm の AlGaAs/GaAs レーザーを学会から生産の現場に持ち去った模様である。また, この廉価なレーザーを加入者系の光ファイバ通信に利用する動きは長波レーザーの石英ファイバ通信用としての素性の良さに阻まれているかに見える。この分野で報告は少ないが, 高出力化の視点で共振器を 600 μm と長くして 60 mW, 1,000 hr の安定動作を確認 (日立)², MBE でダブルヘテロ層を成長し, LPE でブレーナ埋込みにしたレーザーで 70°C, 5 mW 2,300 hr 安定動作を確認 (シャープ)² 等, 開発サイドでの報告は見られる。

800 nm 帯 AlGaAs/GaAs レーザーの高出力化はディ

スク用のみならず固体レーザー励起源, 医療・加工用途等の開拓も背景にして目ざましい。励起源として横モード制御よりも高出力化が重要なブロードエリアレーザーの分野では, 幅を 600 μm まで拡大したストライプから 3W の大出力 (COD レベル 5 W), 幅 200 μm (1 W) \times 18 本の COD レベルが 30 W, スローブ効率 0.7 W/A に到達 (\sim 850 nm: ソニー)^{1,2}, 幅 150 μm , 500 μm 長の 805 nm AR/HR コート付き SQW \cdot SCH から 1.8 W (三菱)¹ 等がある。横基本モードのレーザーでは GRIN \cdot SCH \cdot DQW をアルミナで埋め込み, 830 nm で 100 mW 出力 (オムロン)¹ が報告されている。

845 nm では, 3 層 MQW を台形状基板に形成し, おそらくいままでで最も再現性の高い, 1 回の MOVPE 成長を基本にした低しきい値 (サブミリアンペア) のレーザーが実現している (ソニー)²。出射角は垂直/水平方向でそれぞれ 37°/38° とほぼ円形であり, 今後の技術進展にとってきわめて重要な基盤になると評価され, このレーザーを 100 個並列集積したモノリシック光源 (ソニー)² はその第一段階と理解される。

S 処理によるレーザーの再現性, 安定性改良については経験的な知見が増えている (オムロン, 三洋)¹。

この波長帯でのレーザーのコヒーレンス技術として, SQW レーザー活性層の一部をイオン注入による disordering で導波路に変えた 1 mm の複合共振器から 1.05 MHz のスペクトル線幅が得られている (光計測技術開発)¹。

AlGaAs/GaAs 系の DFB レーザーは, しきい値が 14 mA まで低下し, これまでの長波帯 DFB レーザーにおける回折格子との屈折率結合動作と基本的に異なる利得結合型 DFB 動作を特徴にして, 戻り光誘起雑音の低さ (RIN で 25 dB の差), モードの動的安定性など新しい議論を引き起こしつつある (東大等)^{1,2}。またこの波長帯でも MQW の進行波光増幅素子の特性評価がなされ, 雑音指数 NF が 4.6 dB と理論限界 (3 dB) に接近している (NTT)²。

9.1.4 900 nm 帯半導体レーザー

InGaAs on GaAs 基板の 980 nm 帯歪系 QW レーザーが, Er ドープファイバによる 1.5 μm 帯での光増幅に対する高効率のポンプ光源として登場したのは前年である。90 年, 歪系であるがゆえの信頼性上の根本的な不安性はなさそうであるとの見通しが出てきている。また COD のレベルが 10~20 MW/cm² と推定されるまでにいたり, AR/HR コート条件下では, 9 μm リッジで 980 μm で 270 mW, 2 μm リッジで 140 mW

程度の出力 (NTT)², 874 nm 波長ではブロードストライプで 318 mW の出力 (日電)² 等が再現されるようになっていた。また信頼性試験では 30 mW, 3,000 hr 以上が確認され始めた (NTT, 日電)²。上記の AlGaAs をバリア, クラッドに用いた GRIN・SCH・QW に対して, Al を含まない InGaP 組成のクラッドを用いた材料系では共振器長を 1.5 mm として 120 mW までいたることが報告された (古河)²。

この波長帯では, 面発光型レーザーの進歩が米国で著しい。日本ではこの分野の研究, とくに素子の製作に関する部分がたち遅れている。

9.1.5 1.3~1.5 μm 帯半導体レーザー

歪系の導入および活性層の量子化とその低次元化がキーワードとなって多様な角度から報告がなされている。

コヒーレンスは 1.5 μm 帯 DFB で 200 kHz を割る段階になった。位相調整領域付きで 25 mW, 170 kHz (日立) 等²に代表される。また, DBR レーザーの研究が広がり (NTT, 沖, 日立, 藤倉, アンリツ等^{1,2}), 7 mW, 450 kHz (沖)¹ が得られている。

レーザーの直接変調の高速限界は, バルク結晶で 3 dB 低下点が 23 GHz の場合, MQW ではその約 1.5 倍の 36 GHz 程度に, さらに多重量子細線 (MQF) では 70 GHz に向上する (広大, 日立)^{1,2}, と報告されている。また, MQF 試作実験は室温動作のレベルに到達しはじめている (東工大)²。さらに, バルク, 量子井戸, 評量子細線へと低次元になるほど線形状関数は従来の Lorentz 型モデルからはなれ利得係数, 微分利得が過小評価されることが指摘されている (日立, 広大)¹。また, 利得スペクトルのより丁寧な評価がされている。無歪 MQW で第二準位の寄与による広帯域化 (富士通, NTT)², 歪系の MQW では利得半値幅が無歪系の 1/2, 微分利得にして $5.5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ で約 4 倍増 (日電) 等, 伝導帯電子の状態密度の増大, 正孔質量の軽減等による効果が報告されている。歪系の試作レーザーは, 1.5 μm ブロードコンタクトレーザーで 700 μm 長共振器でしきい値密度 700 A/cm^2 (日電)¹, 1.48 μm で 120 mW (沖)² の報告もある。なお, この波長では無歪 QW 系で 200 mW 前後の出力が得られている (日電, 沖)^{1,2}。さらに歪系では, MQW バリア層に張力を与えた系ではタイプ II 型となり, TM 発振モードがより強くなることが明らかにされた (NTT)²。

結晶成長技術の高度化は, InP の 4 元組成を用いた段階上の GRIN・SCH を可能にし始めた (古河, 住友等)^{1,2}。

9.1.6 面発光レーザー

μ キャビティレーザープロセス研究の国内での立上りを期待したい。GaAs 系で活性層を埋め込んだ DBR レーザーで 10°C, CW 発振しきい値 7.7 mA (サンヨー), Si/SiO₂ ミラー製作の反射率制御モニタリングで推定 99% 以上を実現 (高工大)² 等がある。

(NTT 光エレ研 車田克彦)

9.2 気体レーザー, 固体レーザー

9.2.1 研究動向

近年, わが国のレーザー開発は以下の四つの大きな流れの中で進められていると考えられる。第一は固体レーザーのルネサンスと呼ばれるもので固体レーザー開発の再活性化である。これは, 半導体レーザーの高出力化と, レーザーや非線形結晶において新材料が次々と出現したことを受けたもので, 小型高出力, 高効率の理想的な実用レーザーを, 固体化することによって実現できるとの立場にあり, 米国を中心とした世界的な固体レーザー指向の中にある。この分野では産業界のみならず, 大学等の研究機関からの活発な発表が国内で続いている。

第二はエキシマレーザーの開発の流れであり, 大型プロジェクト「超先端加工システム」のかかげる高出力, 高繰り返し, 長寿命レーザー開発に先導され, プロジェクト参加以外の企業もまきこんで活発な開発競争が行われている。これはリソグラフィのみならず, 強力な紫外光の光作用が, エキシマレーザー利用分野を今後広く発展させることを期待してのものである。これに対して大学等の研究機関ではむしろ短波長光の発生や核融合をめざした大型エキシマレーザーシステムの開発が行われている。このようなエキシマレーザーに対する取組みは, 欧州におけるユーレカ計画やユーロレーザー計画に対応する。

第三はレーザーウラン濃縮に関連したレーザー開発の流れである。よく知られているようにレーザー濃縮プラントでは数百 kW 規模のマルチ波長高機能レーザーシステムの建設が要求されており, このため分子法用の高出力 TEA-CO₂ レーザーやラマンレーザー, 原子法用の高出力銅蒸気レーザーや色素レーザーの大規模な開発が, 原子力関係研究機関や受注メーカーで活発に行われている。この分野ではレーザー技術開発の研究結果がすべて公開されているとは考えられないが, パルスレーザーの高出力化, 長寿命化やシステム化技術等に関連して一般のレーザー技術にも波及効果の大きいものが見え始めたといえる。

第四の流れは短波長レーザーの開発であり、これは大型実験装置をもつ、大学や研究所を中心に研究が行われている。尖頭出力を向上させるためには、レーザーの短パルス化が重要であり、超短パルス発生・制御技術の活発な研究との関連も深い。本稿では、以下筆者の関心の深いこの四つの流れについて、そのトピックスを紹介する。

9.2.2 固体レーザー

固体レーザーの研究としては、LD 励起 Nd:YAG レーザーの励起効率に関するものや^{1,2}、出力光の短波長化が研究の中心であった^{1,2}。短波長化に関しては、0.9 μm YAG レーザーの SHG で 0.473 μm へのブルー化が出力 7.2 mW で実現された²。これら LD 励起固体レーザーの国内の研究状況はレーザー研究特集号に詳しい³⁻⁸。なかでは慣性核融合用の大出力ガラスレーザーも LD 励起で行うという壮大な計画も示されている。しかしながら、概して国内の研究は縦励起方式が主であり、横励起方式による高出力化等には、まだ本格的な取り組みは進んでいないように見える。この分野での研究の進展は、世界的にみてもめざましいものがあり、2次元の集積型パルス半導体レーザーアレイで、Nd:YAG の発振器-増幅器を励起し、Qスイッチパルスでサブジュールクラスの高出力パルスが実現されている²⁸。

一方、フラッシュランプ励起のスラブ型レーザーでは、ガラスの局所的熱蓄積を分散させるムービング方式により、5 pps で 1 kW、また 25 pps で 700 W のものが実現された²。これは従来のガラスレーザーの先入観を打破するものであり、ビームの集光特性等がさほど重要視されないような応用分野では、高出力レーザーとして CO₂ レーザーや、タンデム型 YAG レーザーに競合するレーザーに成長する可能性がある。

新固体レーザーでは、Ti:サファイアのみならずアレキサンドライトレーザー、フォルストライト系レーザーの発振特性の研究が多かった^{1,2}。とくに本年の特徴として、国内でもレーザーレーダーへの応用を目的として研究に取り組む発表が多くなったように感じられた。固体の簡便さと広いスペクトル幅をもつ利点をいかにした超短パルスの発生の分野において、モード同期 Ti:サファイアレーザーが、CLEO '90/IQEC '90 の国際会議でも一つの焦点であった。Ti:サファイアレーザーについては自己モード同期により、フーリエ限界の 90 fs のパルスが得られることが報告された²⁸。また、共振器内自己位相変調効果を利用したソリトン型パルス圧縮により 50 fs のパルスが得られた^{2,28}。波長変換法では、

LiB₃O₄ や BeSO₄ 等の新しい非線形結晶を使った高調波やパラメトリック発振により、平均出力数 W クラスの紫外、波長可変の近赤外光発生の報告も多くの注目を集めた^{2,4-7,9}。

9.2.3 気体レーザー

エキシマレーザー装置自体については、昨年度に比して大幅な性能向上が得られたとの発表はなかったが、3 kHz (80 W) への動作が可能となったこと²、放電管内の材料を選択しセラミックスを用いることにより、ArF レーザーの2倍以上の長寿命化、3 $\times 10^6$ ショットまで達成されたことが報告された²。昨年度のレポートにおいても指摘されているように、エキシマレーザーの性能を総合的に向上させるために、パルスパワーばかりでなく、各コンポーネントの改良選択や使い方の工夫等の総合的、かつ地道な努力が今後もかなり長い期間必要なかもしれない。この意味で、損傷しきい値が低く信頼性の点で問題の大きかったエタロンを複合共振器のシード側に配して照射レーザー強度を下げ、エキシマレーザー発振の狭帯化に成功した例は、スマートな解決策を示したことになる³⁻²。

原子法のレーザー開発では、レーザー管の大口径化 (80 mm ϕ)、3 m クラスへの長尺化が可能となり、単機 200 W クラス、システム動作で 340 W クラスの運転実績が示された²。また磁気アシストを用いて、サイクロンの長寿命化による 200 時間を越す長時間運転が行われた¹。同時にサイクロンを使わない半導体スイッチ+磁気圧縮回路方式²や磁気圧縮回路を排した直接半導体スイッチ駆動型¹の CVL でも 100 W クラスの出力が得られるようになったのが注目された。色素レーザーについての研究も一部が紹介された²。

分子法では、TEA-CO₂ レーザーにいち早く半導体スイッチ+磁気圧縮回路を取り入れており、一連の研究の結果、単機で 1 kHz, 500 W、また 140 Hz, 1.2 kW 以上の出力が達成されたことが報告された²。ラマンレーザーでは主としてラマン変換特性の解析や効率向上の方式に関する研究が多かった^{1,2}。

これらの研究をみると、パルスレーザー用電源の半導体化スイッチ技術は、研究段階からようやく実用段階に入ってゆくものと考えられる。今後はパルスパワー電源におけるエネルギー伝送の高効率化と製作コストの低減や耐久性等の経済性の問題が中心課題となるであろう。

9.2.4 短波長レーザー

短波長レーザーではテラワット級サブピコ秒の KrF

エキシマレーザーの高調波発生により 25 次 9.9 nm までの変換光が観測され話題をよんだ^{1,2}。市販のサブピコ秒色素レーザーを用いた、ギガワットクラスの可視光の励起でも 41 次 15 nm までの高調波がはっきりしたプラトー化現象を伴って観測されることも報告され注目された³。X線レーザーに関しては 44.83 Å, 43.18 Å の炭素 K 端の長・短波長側の利得が観測されるに至った⁴⁻⁶。これにより、X線ホログラフィーやX線散乱計測ができる準備が整ったことになり、今後の発展がますます期待される。

短波長化に関しては laser without inversion も大きなトピックスであった。これは近接する上準位が、自動イオン化等を通して他のレベルと相互作用することにより、下準位からの吸収は減少するが、しかし上準位からの発光には変化が起こらない、すなわち、吸収のない特異的な“窓”が吸収帯の中にできることを利用するものである⁷⁻¹⁰。この方式により Zn の $^1P_1 \rightarrow ^1S_0$ 遷移を使って、104.8 nm, 0.2 μJ, 変換効率 0.1% の出力が得られた¹¹⁻¹²。またこの“窓”の存在と、干渉による非線形定数 $\chi^{(2)}$ のエンハンスメント効果を利用して、121.6 nm の SHG 発生にも応用できることが示された²。レーザー励起等のプラズマX線の利用について、国内状況はレーザー研究、X線顕微鏡の特集にまとめられている³⁻⁸。

9.2.5 その他

以上レーザー装置について述べてきたが、レーザー自体が高性能化すればするほど、それをささえるコンポーネントの重要性が増す。この意味で $\text{AgClO}_4\text{Br}_{0.5}$ 材料により曲げ曲率 20 mm の曲度の高い CO_2 用ファイバーが完成したことは特筆に値する¹²。また全反射鏡でもわずかに起こる吸収を介した光音響シグナルを検出してレーザービーム位置を検出する方法は、レーザーのシステム化には大きな道具となることが期待される²。光学コンポーネントでは、とくに今後広いスペクトル領域で良好な特性をもつ光学コンポーネントの開発を期待したい。(理化研 田代英夫)

10. 視 覚 光 学

わが国の視覚光学に関する研究は、近年、非常に活発になってきており、この1年間を振り返ってみても多くの研究発表が行われた。応用物理学会の春季では 21 件、秋季では 18 件の論文発表があった。また、日本光学会の視覚研究グループを母体とした研究会として、視覚研究会という独立した名称で冬と夏に研究発表会が開催されているが、冬期には一般講演 45 件、特別講演 7

件、シンポジウム 1 件、夏期には一般講演 40 件、特別講演 7 件と非常に活発に研究発表が行われた。その他、関連分野の大会を含めると相当数の研究発表が行われている。視覚に関する研究については、学際的な研究としてその分野で相当広いので、ここでは、視覚光学の研究動向を把握するのに適当と考えられる応用物理学会、および視覚研究会の発表を中心に振り返ってみる。

10.1 明るさ知覚

光源色（たとえば、テレビや信号灯など）や物体色の明るさを測定する場合、われわれは輝度計で測定しているが、その測定値が同じ値であっても色が異なると明るさも異なって見え、とくに青色のあざやかな色はそれが顕著に示される。このことは以前から国際的にも問題となっているが日本がこの問題に最も積極的に取り組んでおり、昨年も多くの研究発表が行われた。

全照度レベルに有効な明るさの測光システムを開発するためには、明所視から暗所視領域の広範囲にわたる明るさ感覚を調べる必要があるが、この広範囲にわたる照度レベルでの表面色の明るさが定量的に評価された⁹⁻¹⁰。また、明所視領域においても、その照度レベルによって明るさ感覚が変化するので、その変化を調べることも重要である。この明所視領域において、日中の屋外におけるような高い輝度レベルでの比視感度関数が詳細に調べられた^{1,2,23,24}。また、網膜を刺激するサイズによる明るさ効率、明所視レベルになると 10° , 2° 視野の差はなくなることが明らかにされ¹、刺激サイズが $11'$, $3'$ のようにもっと小さくなると、刺激間にギャップがない場合は黄青反対色チャンネルの寄与が減少し、明るさは輝度チャンネルによって決定されることが解明された³⁻⁵。

ユニーク色における明るさと色チャンネル出力の関係についても定量的に考察され²⁴、明るさの視感度を直接比較と継時比較で測定することによって、測定法による有意な差があることも認められた³⁻⁵。網膜位置による色票の明るさの変化も調べられた¹。明るさマッチングについては個人差が大きく示されるが、その個人差についての測定および分析がなされ^{2,23}、標準的データの確立のための研究も進められた。

輝面色モードと表面色モードの違いによって明るさ知覚メカニズムも変化するが、有彩色の背景光によっても明るさ知覚メカニズムの変化が見られ^{1,23}、このモードの違いによる明るさ効率の変化の分析も行われた²³。表面色の明るさは色相や彩度によっても異なるので、この関係をマンセル色で分析することによって、表面色の明るさをマンセルクロマとマンセルヒューの関数として近

似できることが明らかにされた⁴。また、等価明度を非線形色知覚モデルで推定できることも明らかにされた⁴。明るさに関する応用面では、照度レベルと視作業性との関係を把握することも重要な課題であるが、薄明視における視作業性²⁴についての実験も着手された。

以上のように明るさに関する研究は積極的に進められており、人間の明るさ感覚に忠実な測光システムの提案がなされる時期が近づいてきたことを示唆している²³。

将来は、明所視、薄明視、暗所視の全照度レベルに応じた明るさの測光器で光源色や物体色の明るさを測定することが可能になるであろう。

10.2 色の見え

色の見えに関する研究については、カラーディスプレイ (CRT) を用いて実験されたものが目につく。コンピュータを使用することによって、さまざまな実験条件を設定できることから、近年、目立って増えてきており、このことは、色覚メカニズムの解明に大きく寄与するものと期待される。

この CRT を用いた実験では、色差弁別のランダム・ドットパターンによる影響¹、色弁別の空間的特性^{1,23}、隣接フリッカー光の位相差によって生じる色ずれ^{1,23,24}、色の記憶と色の見え^{1,24}、フリッカー検出閾値における反対色メカニズム²、など時間・空間特性による色の見えや色弁別が調べられた。また、コンピュータによるメタリックカラーの色再現¹、フィルイン現象の定性的実験¹、薄明視における色の見えのシミュレーション^{2,24}、color management system^{2,24}、物体認識のための色差閾値²などの報告もされた。

一般に測色値の x, y 色度図は、実際の色の見えを表していないので、色度図上では色の見えの違いを示すことはできない。したがって、色の見えを評価する場合は別の方法で行う必要があるが、その方法として、カテゴリーカラーネーミング法が実用的なものとして利用されている。このカテゴリーカラーネーミング法によって、開口色と表面色のモードの違いによる色の見えが調べられ、開口色モードで黄、橙だったものが、表面色モードでは茶色に、桃色だったものが紫や赤に、白が灰色に見えていることが明らかにされた^{2,24}。また、モードの違いによる色度変化¹や単色光の色の見えの変化²⁴、についても調べられた。広範囲な照度レベルでの色の見えの変化と個人差についても調べられた^{1,23,a-9}。

以上のように色の見えについての研究も積極的に進められ、色覚の高次のレベルが徐々にあきらかにされていることを示唆している。

10.3 視覚運動系 (運動視差と両眼視差)

立体形状や大きさの認識、および奥行き知覚については、運動視差や両眼視差が重要な役割を果たしていることが知られている。奥行き知覚について、ランダムドットパターンを用いて調べられたが、奥行き情報については運動視差と両眼視差の情報の加算を行っていることが認められ^{2,24}、眼球運動も奥行き知覚に重要な役割を果たしていることが示唆された^{2,24}。さらに、奥行き知覚量と刺激密度の関係²も調べられた。また、同一の知覚速度でもコントラストにより知覚される奥行き量は異なり、速度判定時に用いられている運動情報と、運動視差による奥行き知覚時に用いられている運動情報とは同一でないことがあきらかにされた¹。

3次元空間の知覚について、両眼立体視による錯視現象がそのメカニズムを解明していくのに有力な手段であるとの提案がなされた²。外界の対象物の知覚される大きさと視角の関係を調べた結果、視角の感覚は物理的視角を直接反映していないことが確認された^{2,24}。また、運動視差と大きさ知覚の関係^{1,23}、運動視差と両眼視差の関係¹、サッカーボールが生じたときの刺激移動と知覚の関係^{1,23,24}、二眼立体テレビ観察時の調節・輻輳¹、両眼立体視の形成に及ぼす陰影の影響^{1,23}、微動調節の視力に及ぼす影響²、動きの差により分離された図形に対する視知覚の時間的統合特性²、運動視差と絶対距離知覚の関係²⁴なども調べられた。

(広島工大 湯尻 照)

11. 光源・測光・照明

近年、光源の利用は従来の照明分野にとどまらず、映像情報分野、半導体などの製造分野、バイオ技術、医療関連などへの応用が活発に行われている。映像情報分野では、液晶ディスプレイのバックライトへの展開が盛んになり、また、光源から得られる紫外放射の化学作用を利用した、光 CVD などの半導体製造技術への応用や、殺菌装置などのバイオ・医療への応用が活発化した。これらの光源の応用分野の拡大を支えたものとして、測光技術の進展がみられた。とくに測光技術の要となる測光標準に関しては、シリコン・ホトダイオードの絶対応答度を求める自己校正技術の成熟にともない、精度の高い標準の確立に関する研究がなされた。

一方、照明の分野では、昼光照明に関する研究報告が活発に行われた。これは、国際照明委員会が 1991 年を国際昼光測定年と定め、世界的規模で太陽放射と昼光の測定を実施するためである。

11.1 光源

バックライトを使った液晶ディスプレイには、液晶のイメージを投影する液晶投写型と液晶の画像の視認性を向上させるために背景を照明する直視型がある。投写型は、大画面映像ディスプレイの中で比較的軽量、安価な装置が実現できることから商品化が活発に行われている。この装置のバックライトとして、バルブの失透を抑制し、赤色再現性に優れた、ヨウ化リテチウムとヨウ化リチウムを封入したメタルハライドランプの開発(成田ほか・ウシオ電機)²⁵や、ディスポロシウムやネオジウムを封入したメタルハライドランプの検討(友清ほか・松下電子)²⁵が報告された。

直視型は、携帯型のワープロやパソコン用の小形軽量のディスプレイとして需要が急増している。より薄型のディスプレイを実現する、管径 2.4 mm、管長 70 mm の冷陰極蛍光ランプが開発(高木ほか・東芝ライテック)²⁵された。また、冷陰極型より明るい熱陰極蛍光ランプで電極強化とゲッタの搭載により 6~8 万回の点滅寿命が得られるものが開発(松川ほか・三菱電機)²⁵された。視認性を重視する用途には十分な輝度の得られる熱陰極蛍光ランプが使用され、限られた電池容量で長時間使用する用途には、冷陰極蛍光ランプが使用され、両者の利用範囲が明確に分かれていくものと思われる。

照明用光源では、ランプ効率の向上を目的とした赤外反射膜の自動車用ハロゲン電球への応用(福恵ほか・東芝ライテック)²⁶(斎藤ほか・東芝ライテック)²⁶がなされた。また次世代光源として早くから研究の対象とされてきた無電極蛍光ランプの実用化の報告(四宮ほか・松下電工)²⁶があった。電極がないということは、電極の損耗に伴う寿命低下がなく長寿命が期待でき、また、封入金属も電極材料との相互作用による制約がなくなることからこの種の放電ランプの期待は大きい。

11.2 測光

シリコン・ホトダイオードの自己校正法による絶対応答度測定技術は、これまでの電球を使った光の標準に対し、確度や再現性にすぐれた放射標準の確立の基礎を築いたといえる。昨年は、これらの研究を基にした実用標準の確立が報告された。自己校正法による測光標準の値付け方法は、これまで複数波長の単色光に対して行われていたが、白色光を用いた簡易な手段で、高精度の光度、光束標準の値付けをする方法が報告(大野・松下電器)²⁶された。また、相対分光応答度測定技術と組み合わせ、絶対分光応答度の標準を紫外波長域に延長し、波長 253.7nm の放射に対する放射照度の値付けを行っ

たものについて従来の黒体炉を標準とした値付け方法との比較を行い、よい精度で一致することが報告(大久保ほか・松下電器)²⁶された。一方、自己校正法を行うシリコン・ホトダイオードの紫外・可視の分光応答度の経年変化を調査し、標準としての経年的な安定性の検討(中川ほか・埼玉大)²⁶がなされた。

照度計などでは、受光器の分光応答度の標準比視感度からのはずれが照度測定値に誤差を生じさせる。この分光応答度の標準比視感度からのはずれの評価方法には JIS や国際照明委員会の規定があるが、実際のさまざまな光源を測定したときの測定誤差の程度に必ずしも対応しないという問題がある。この分光応答度の実用的な評価方法として高圧水銀ランプに対する色補正係数を用いた測定誤差の推定方法の検討が報告(大塚ほか・松下電器)²⁶された。この方法は、分光応答度測定の必要がなく、簡単な測定で照明計測器の受光器の視感度補正の評価が実現できる点で注目される。

分光測定技術では、受光器アレイと分光分散素子を用いたマルチチャンネル分光測定装置が、スペクトルの時間変化を測定する手段として注目されている。この装置を使った光源色や物体色の測定には、スペクトルの測定精度が重要となり、受光器アレイのビデオ信号出力の量子化に伴う誤差の検討(大久保ほか・松下電器)²⁷がなされた。ここでは、装置の検出感度を変えた測定スペクトルを合成することにより、量子化に伴う誤差が改善されることが示された。

この他、球形光束計を用いて放電ランプの全光束を測定する際必要となる球形光束計内壁面の反射率測定方法(鈴木ほか・松下電器)²⁶や、赤外分光放射測定に重要な光検出器の雑音周波数特性(伊藤・電総研)²⁶の調査や PbS 光導電素子の感度の経時変化とその対策(中原・香川医大)¹、大気中の放射の吸収の評価方法の検討(中川ほか・埼玉大)²⁶の報告がなされた。

11.3 照明

心理的、生理的に快適な光環境を実現するために、照明設計において自然光である昼光を有効に利用することが検討されている。このためには昼光と日射の標準的なデータが必要であり、世界的規模で太陽放射と昼光の測定が実施される。これに伴う、昼光と日射の連続測定装置の開発(中村ほか・九州大学)²⁶(西ほか・名城大学)²⁶が行われた。照明設計では、眼球内散乱による光幕輝度を考慮したトンネル入口部の照明設計手法の提案(佐々木ほか・松下電器)²⁷があった。これによって、車によるトンネル侵入時の視認性が改善されることが予想され

る。CGの照明設計への利用も盛んで、住宅街路照明環境のシミュレーション（鹿倉ほか・東芝ライテック）²⁶や、国際花と緑の博覧会の出展パビリオンのライトアップシミュレーションに使用（倉町ほか・竹中、東芝ライテック）²⁶された。このほか、自由曲面までシミュレートできる光学解析ツールが開発され、これを使った白熱電球の内部導入線による照射面の影の検討（村上ほか・松下電工）²⁶が行われた。これによって、内部導入線の影を生じない電球の設計が報告された。

（松下照明研 大久保和明）

12. 光学関連の規格

光学技術は多岐にわたり、研究段階にあるものも多いが、実用段階になったものについては、それらの標準化活動が各分野で進められている。国際的には、主として、ISO（国際標準化機構）、IEC（国際電気標準会議）、CIE（国際照明委員会）などの中の関連各 Technical Committees が中心となって標準化が進められている。わが国では、工業標準化法に基づいて、JISC（日本工業標準調査会）が日本の国内規格として JIS（日本工業規格）の判定を行っており、その所轄は、工業技術院標準部となっている。

国際規格の審議には、JISCの委託によって、各受託審議団体が、日本国内委員会の代表の資格で参加し、それぞれの関連 TC（専門委員会）、SC（分科委員会）、さらに WG（作業グループ）の専門家メンバーが具体的審議を行っている。

光学関連の上記国際機構の TC および SC、ならびに JISC からの受託審議団体は、次のとおりである。

ISO/TC 36（映画）：ISO/TC 36 国内協議会（幹事：日本映画機械工業会）

ISO/TC 42（写真）：ISO/TC 42 国内協議会（幹事：日本写真感光材料工業会）

ISO/TC 94/SC 6（保護めがね）：日本溶接協会、日本保安用品協会

ISO/TC 172（光学及び光学機器）：日本光学工業協会

同上/SC 1（基本的標準）：日本光学工業協会

同上/SC 2（光学製造用材料及び副資材）：日本光学工業協会

同上/SC 3（光学材料及び構成物）：日本光学工業協会（JNC/ISO/TC 172/SC 3 分科会）

同上/SC 4（望遠鏡）：日本光学機器協会

同上/SC 5（顕微鏡）：日本光学機器協会、日本顕微鏡工業会

同上/SC 6（測量機器）：日本光学機器協会、日本測量機器工業会

同上/SC 7（眼鏡用及び眼科用、内視鏡及び度量衡の機械と試験方法）：日本光学機器協会、日本医用光学機器工業会

同上/SC 8（眼鏡光学）：日本光学機器協会

同上/SC 9（電気光学システム）：光産業技術振興協会
ISO/TC 180（太陽エネルギー）：ソーラーシステム振興協会

ISO/IEC/JTC 1（情報技術）：情報処理学会、日本電子工業振興協会、日本事務機械工業会

同上/SC 17（識別カード及び関連装置）：日本事務機械工業会

同上/SC 23（情報交換用光ディスクカートリッジ）：情報処理学会

同上/SC 24（コンピュータグラフィックス）：情報処理学会

IEC/TC 34（電球類及び関連機器）：日本電球工業会

同上/SC 34D（照明器具）：日本照明器具工業会

IEC/TC 47（半導体デバイス）の中の光ファイバ半導体デバイス、液晶及び固体ディスプレイデバイス）：電子情報通信学会

IEC/TC 62（医用電気機器）：日本電子機械工業会

同上/62 B（X線装置（400 kV 以下）及び関連機器）：日本放射線機器工業会

同上/62 C（高エネルギー放射装置及び核医療用装置）：日本放射線機器工業会

同上/62 D（医用電子機器）：日本電子機械工業会

IEC/TC 76（レーザ装置）：光産業技術振興協会

IEC/TC 82（太陽光発電エネルギーシステム）：日本電機工業会

IEC/TC 86（光ファイバ）：電子情報通信学会

同上/SC 86 A（光ファイバ及びケーブル）：電子情報通信学会

同上/SC 86 B（光ファイバ相互接続デバイス及び受動部品）：電子情報通信学会

同上/SC 86 C（光ファイバシステム仕様）：電子情報通信学会

国際規格の審議は、1990年1月31日より、IECとISOに共通の IEC/ISO Directives（IEC/ISO 専用業務用指針）に準拠して、立案から刊行までを含めて実施されている。また、IECにおいては、さらに国際規格の刊行を促進し、各国の利用に貢献するため関連手順（規則、施行基準、専門業務用指針を含め）の改正が提案さ

れており、近く臨時理事会で審議の上、本年10月のマドリッドでのIEC理事会および総会へ承認を求めため提出されることになっている。

国際規格関連の各委員会の活動は割愛するが、ISOについては、毎年発行される「Report on ISO activities」を、IECについては「Year Book」を、また、国際規格については、ISO Catalogue, IEC Catalogueを参照されると現状がわかる。これらを含め、国際規格や各国規格は、日本規格協会より入手できる。

光学関連の日本工業規格(JIS)については、上記の国際規格審議団体を含めて、幾多の団体が、原案作成、改正案作成などと日本国内における標準化に協力しており、日本の産業発展の一端をになっている。

1990年中に新たに制定および改正された光学関連のJISは、日本規格協会発行の「標準化ジャーナル」(月刊)によると、次のとおりである。また、光学関連のJISハンドブックは、「光学」編(1991)および「電子(その1)」編(1991)として、4月頃発行される予定である。

- JIS B 7137 生物顕微鏡対物マイクロメータ(新)
- JIS B 7138 生物顕微鏡対物方眼マイクロメータ(新)
- JIS B 7161 オーバヘッド映写機の解像力試験標板(新)
- JIS B 7163 スライド映写機(改)
- JIS B 7141 反射投影機(新)
- JIS B 7751 紫外線カーボンアーク灯式耐光性及び耐候性試験機(改)
- JIS C 5860 空間ビーム光用受動部品通則(新)

- JIS C 5870 干渉フィルタ通則(新)
 - JIS C 5961 光ファイバコネクタ試験方法(改)
 - JIS C 5962 光ファイバコネクタ通則(改)
 - JIS C 5973 F 04 形単心光ファイバコネクタ(新)
 - JIS C 5974 F 05 形単心光ファイバコネクタ(新)
 - JIS C 5975 F 06 形単心光ファイバコネクタ(新)
 - JIS C 5976 F 07 形二心光ファイバコネクタ(新)
 - JIS C 5977 F 08 形二心光ファイバコネクタ(新)
 - JIS C 5978 F 09 形二心光ファイバコネクタ(新)
 - JIS C 5979 F 10 形二心光ファイバコネクタ(新)
 - JIS C 6110 低速光伝送リンク用送・受信モジュール通則(新)
 - JIS C 6111 低速光伝送リンク用送・受信モジュール試験方法(新)
 - JIS C 6841 光ファイバ心線融着接続方法(新)
 - JIS C 6863 全プラスチックマルチモード光ファイバ損失試験方法(新)
 - JIS C 7526 光度標準電球(一般用)(改)
 - JIS Z 6000 マイクログラフィック用語(新)
 - JIS Z 8715 白色度一表示方法(新)
 - JIS Z 8716 表面色の比較に用いる常用光源蛍光ランプ D₆₅形式及び性能(新)
 - JIS Z 8717 蛍光物体色の測定方法(新)
 - JIS Z 8726 光源の演色性評価方法(改)
 - JIS Z 9108 蛍光安全標識板(改)
 - JIS Z 9112 蛍光ランプの光源色及び演色性による区分(改)
- (光産業技術振興協会 武市 武)

日本人による光学原著論文の統計

(1989年10月~1990年9月)

文献抄録委員長 武田 光夫*
同(関西) 河田 聡**

今年も文献抄録委員の方々のご協力を得て光学関係の原著論文の調査を行った。3年前から調査対象が表1に掲げた4誌に絞られたため、国外の雑誌への投稿状況を把握することはできないが、応用物理学会関連のこれらの

雑誌に掲載された光学分野の原著論文の統計を通じて光学分野のマクロ的な動向や各雑誌の役割を知る一助となれば幸いである。

この種の調査は、ある期間にわたって同一条件で記録を継続することに意義があると考え、昨年度よりデータベースの作成を開始し、今回の統計データの報告内容もできるだけ昨年度の調査項目と報告形態を引き継ぐこと

* 電気通信大学電子情報学科 〒182 調布市調布ヶ丘 1-5-1

** 大阪大学工学部応用物理学科 〒565 吹田市山田丘 2-1

表 1 調査対象雑誌と光学原著論文数

学術雑誌名	論文数 (括弧内は昨年度)
光 学	38 (24)
応用物理	12 (18)
Jpn. J. Appl. Phys.	88 (86)
Jpn. J. Appl. Phys. Lett.	127 (62)
合 計	265 (190)

にした。

表 1 に示すように、4 誌の光学論文総数は 265 編と昨年度より急増している。とくに JJAP (Part II, Letter) の光学関係の論文数が 2 倍ときわだって増加しているのは、昨年 4 月に神戸で行われた光コンピューティング国際会議 (OC '90) で発表された論文のかなりの部分が JJAP (Part II, Letter) の OC '90 特集号に投稿されたことによる。これは、雑誌の編集委員会と国際会議のプログラム委員会の協力が成功した好例である。また「光学」の原著論文が 50% も増加しているのもまさに特筆すべきであろう。

研究分野別の内訳については、例年どおりレーザーが 64 編と断然多く、その後は多い順に、光エレクトロニクス・光デバイス (49 編)、光物理 (42 編)、光情報処理 (36 編)、分光 (18 編)、光記録 (13 編)、画像表示 (11 編)、結像素子・光学機械 (10 編)、光応用計測 (8 編)、視覚光学 (8 編)、光源・測光・照明 (4 編)、光学関連の規格 (2 編) と続いている。これらの数字は、おのおの分野のアクティビティの高さを一応反映しているものと読みとることができる。しかし、最近の光関連の研究は単純にこれらの分類にあてはめるのが困難なほど複合化していることや、分野によっては論文がかなりの割合で国外の雑誌に流出しているという点も考慮する必要がある。

前回に引き続き、4 誌のファーストオーサーの年齢に関する統計をまとめたものを図 1 に示す。横軸は学部卒業後の経過年数である。図中の×印でハッチを入れた棒グラフが今回の調査結果で、その左となりに / 印でハッチを入れた棒グラフが昨年の調査結果である。両者を総合すると、30 歳あたりと 40 歳なかばに中心をもつ二つの山が観測される。光学論文賞の対象となる年齢がちょうど第 1 の山をほぼ含む形になっていて興味深い。第 2 の山の存在は、横軸の中心付近の年齢にある筆者らの世代にも多少の夢と希望を与えてくれる。

昨年より、新たな試みとして、ファーストオーサーの所属機関の統計をとってみた。昨年は、東工大 (13)、NTT (11)、東大 (8)、阪大 (7)、日立 (7)、理研 (6)、早大 (5)、東芝 (5) などがめだつたところであった。今年も、NTT (19)、阪大 (16)、東工大 (13)、東芝 (8)、日立 (8)、東大 (7)、名大 (7)、松下 (7)、電総研 (6)、山梨大 (6) などが目につくところである。今年最も著者数の多かった NTT でも全著者数の 7% 程度であり、これらの雑誌に投稿された研究に関する限り、昨年同様、著者は特定の研究機関に集中せず、この分野の研究が日本のさまざまな研究機関に分散して支えられている傾向がうかがわれる。最近、企業と大学の研究資金や施設・設備の著しい格差が問題になっている。そのようななかで、光学・光エレクトロニクスの分野では、大学の研究者もよく健闘しているというべきであろうか。

前述のように、「光学」への研究論文の投稿が昨年度に比べて 50% も増加しているのは心強い。研究速報に力を入れるなど都合な条件が整ってきたので、会員各位の積極的な投稿により、「光学」が学術雑誌としていっそう充実し、発展することを期待したい。

おわりに、調査に協力いただいた文献抄録委員の方々に感謝します。

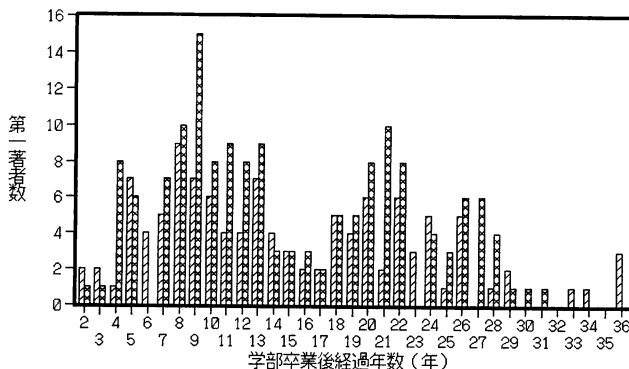


図 1 著者年齢分布 (ファーストオーサーのみ、1990 年卒をゼロ年としている。×印ハッチは 1990 年度、/ 印ハッチは 1989 年度)