

1996 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。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		記号
光 学 第 25 卷第 <i>n</i> 号	a- <i>n</i>	Euro Display '96 Proceedings	12
応用物理 第 65 卷第 <i>n</i> 号	b- <i>n</i>	IQEC '96	13
Jpn. J. Appl. Phys. (1) Vol. 35, No. <i>n</i>	c- <i>n</i>	1996 年電子情報通信学会総合大会	14
(2) Vol. 35, No. <i>n</i>	d- <i>n</i>	1996 年電子情報通信学会ソサイエティー大会	15
Jpn. J. Appl. Phys. Suppl. Vol. 35, No. <i>n</i>	e- <i>n</i>	Optical Fiber Communication Conf. (OFC '96)	16
J. Opt. Soc. Am. (A) Vol. 13, No. <i>n</i>	f- <i>n</i>		
(B) Vol. 13, No. <i>n</i>	g- <i>n</i>	Intern. Topical Meeting Photonics in Switching (PS '96)	17
Appl. Opt. Vol. 35, No. <i>n</i>	h- <i>n</i>	Integrated Photonics Research (IPR '96)	18
Opt. Lett. Vol. 21, No. <i>n</i>	i- <i>n</i>	Optoelectronics and Communications Conf. (OECC '96)	19
Opt. Commun. Vol. <i>m</i> , No. <i>n</i>	j- <i>m-n</i>		
J. Light Wave Technol. Vol. 14, No. <i>n</i>	k- <i>n</i>	European Conf. Optical Communication (ECOC '96)	20
Nature Vol. <i>n</i>	l- <i>n</i>		
Science Vol. 272 May	m	Intern. Topical Meeting Microwave Photonics (NMP '96)	21
Physics Today Vol. 49	n	日本物理学会第 51 回年会	22
Phys. Rev. A	o	日本物理学会 1996 年秋の分科会	23
Phys. Rev. Lett.	p	European Quantum Electronics Conf. (EQEC)	24
応用物理教育 Vol. 20	q		
IEEE Photonics Technology Vol. 8	r	International Conference on Atomic Physics (ICAP)	25
Electronics Lett	s		
Appl. Phys.	t	15th IEEE Int. Semiconductor Laser Conf. SSDM '96	26
光産業技術振興協会：光技術動向調査報告書Ⅱ	u		
レーザ研究 23	v-01	レーザ学会学術講演会第 16 回年次大会	27
レーザ研究 24	v-02		
Nature	w	2nd International Conference Symposium on 193 nm Lithography	29
Vision Research	x		
Perception and Psychophysics	y	Advanced Solid State Lasers '96	30
Vision	z	CLEO/EUROPE '96	31
照明学会誌	A	日本視覚学会 1996 年冬期研究会	32
電子情報通信学会技術報告書	B	日本視覚学会 1996 年夏期研究会	33
Opt. Rev.	D	日本色彩学会第 27 回全国大会	34
Optical Design No. <i>n</i>	E- <i>n</i>	照明学会全国大会	35
テレビジョン学会誌 Vol. 50, No. <i>n</i>	F- <i>n</i>	電気関係学会関西支部連合大会	36
		色彩学会全国大会	37
		建築学会大会	38
		CLEO '96	39
		1996 年テレビジョン学会	40
		International Symposium on Optical Memory and Optical Data Storage, 1996 Technical Digest Series, Vol. 12	41
		第 20 回日本応用磁気学会学術講演概要集 (1996)	42
		Magnetic Optical Recording International Symposium 1996, J. Magn. Soc. Jpn., Vol. 20, Suppl. No. 51, 1996	43
		第 18 回「磁性多層膜の新しい機能」専門研究会 (平 8.5)	44
◆講演会関係			
第 43 回春季応用物理学関係連合講演会	1		
第 57 回秋季応用物理学学会学術講演会	2		
光学連合シンポジウム '96	3		
第 21 回光学シンポジウム	4		
第 13 回色彩工学コンファレンス	5		
第 26 回画像工学コンファレンス	6		
第 27 回画像工学コンファレンス	7		
第 29 回光学五学会関西	8		
日本学術振興会, 光電相互変換第 125 委員会, 第 155 回研究会資料	9		
Proceedings on EUVL, OSA Topical meeting, 1996 May, Boston	10		
IDW '96 Proceedings	11		

1. 光 物 理

北海道薬科大 中野善明
慶大理工 山田興一

1.1 基礎的・伝統的光学

昨年と同様に部分的コヒーレンス光源から発した光の伝搬によるスペクトル変化, および光多重散乱現象の研究の進展が目玉であった。この他, 近年になく光学教育に関する学会発表や研究論文等の報告が多く思えるので, ここで特に取り上げてみることにする。

1.1.1 コヒーレンス

部分的コヒーレンス光源から発した光の伝搬によるスペクトル変化に関する研究において, 遠方場におけるこのスペクトル変化を波面折り畳み干渉計と結像系を組み合わせた光学系で空間コヒーレンスのみに依存するスペクトル変化で測定できることが示された¹⁻³。これによって, 光源の空間コヒーレンスと伝搬光学系の波長分散に依存するこのスペクトル変化を分離して求めることができ注目できる。また, Wolf 効果が非整数次フーリエ変換を利用して容易に制御できることが示された³。光源のコヒーレンス制御に関しては, 高密度位相変調型液晶を用いた照明系の制御³が報告された。

1.1.2 散 乱

光多重散乱現象は, 生体組織の計測や新しい光学デバイスなどの応用が期待されるため, 研究がさかんである。特に, 高密度かつ強散乱媒質における散乱粒子ならびにそれを取り囲む背景媒質における吸収・放射が散乱光強度に与える影響³, 後方多重散乱の散乱媒質のフラクタル次元の時間相関関数への影響³などが検討された。ポリマー状ランダム利得媒質の光散乱特性³の研究では光の弱局在の現れとなる逆散乱方向に強度ピークが生じるコヒーレント後方散乱現象が着目され, そのピーク値および形状と媒質の散乱特性および利得特性との関係が理論的解析で示された。

金属粗面による散乱状態は散乱粗面の複素屈折率や表面形状の統計的性質に依存することは知られているが, そのメカニズムは十分解明されておらず, これに関する研究が報告された。散乱光の直交偏光成分間にクロスカップリングが生じるような二次元的な粗面についての偏光特性を, ストークスパラメーターの測定と, S, P 各偏光成分の位相差から粗面の性質との関係を検討し³, また散乱直交偏光間のリタデーションについての数値解析³が行われた。

1.1.3 光学教育

近年, 若年層の理科離れが進むなか, これを危惧した三学会(日本物理, 応用物理, 日本物理教育)の会長声明が出されたのも記憶に新しい。特に物理離れは顕著で, 理工系の大学でさえ高等学校での物理未履修の学生が増えてきている。この影響は光学分野にも当然およびならずであり, 従来からの教授法をただ踏襲するだけでは十分な教育効果を期待できないと思われる。新しい教授法や教材による教育が必要である。

本誌の特集⁴⁻⁶では, 光学教育に関連して, 高等学校, 高等専門学校, 大学, 海外の大学・大学院および企業などの各教育現場の実情の紹介があった。高等学校からは新旧課程での光に関する授業内容を比較して今後の授業の進め方の模索状況を示し, 高等専門学校からはホログラフィー実験のための教材開発を含め光学教育の具体例の報告があった。大学からは, 日本女子大学の学部における光学教育の現状と学生達の反応, また学園祭での自主研究として取り上げたホログラフィーの実験が光学の分野の探求心を十分啓発できたことを, また東京理科大学は物理学科・応用物理学科の講義, 学生実験および30年以上にわたり開講しつづけている特色ある講義実験について紹介し, 東海大学工学部からは光学工学科における光学教育の現状を報告された。海外からは, アリゾナ大学光学研究所, インペリアル・カレッジ, およびロチェスター大学における光学教育のプログラムの示され, 日本の大学・大学院教育の変革の必要性を感じる。企業現場からは, キヤノンの技術者教育施策としての技術講座, 海外留学制度, ニコンの新人教育および中堅技術者のための講座などが紹介され, 各社独自の光学に関する社内再教育の現状が報告された。その他, 大学学部の基礎光学教育のための教材開発や教授法については, OHPシートを用いた結晶光学実験について², レーザーディスクの表面を用いる反射型回折格子の実験², ホログラムの回折効率の要因について², 基礎教育における光学に興味を向けるためのこころみ², 学生実験のための液体の光の吸収測定⁴⁻⁶などであった。一方, 光学教育に関する啓蒙活動もさかんであった。応用物理教育分科会の行事や応用物理学会主催の第2回「科学と生活」のフェスティバルで“光がつくる未来社会”は, 青少年の理科離れのブレーキの一役になるであろう。いま日本の産業構造は大きく変化しているが, これにともない活性化のための独創的な人材が必要となる。世界をリードできる光分野の人材育成にあらためて眼が向けられていることで, 光学分野の将来展望が明るいことを確信す

るものである。

(中野)

1.2 量子光学・非線形光学

1996年の量子光学非線形光学分野での研究動向は、新しい動きよりは従来からの課題の充実が印象的であった¹³。特に昨年(1995年)中性原子気体でボーズ凝縮観測の報告が相次いだことからレーザー冷却分野での実験理論が活発であった。また微小共振器、非古典光、近接場光学、フォトニック結晶等でもナノ加工技術に支えられて基礎的理解が進み、量子暗号計算機分野での理論的検討もさかんであった。以下、2, 3の話題を提供することで全般の進展の代わりとしていただきたい。

原子の重心運動を制御してその量子力学的な波動性(原子波)を探求することは、中性子、電子に次いで物質波の基礎的研究対象であるばかりでなく、種々の応用面でも注目されている。この分野では光は主役ではないが、従来の光学での概念が援用できるため原子“光学”と呼ばれる。例えば、2光子強度相関(ブラウントウイスの干渉実験)の原子版^{P-77-15,10}、多重(>2)原子ビームの干渉^{P-77-12}、永久磁石によるレンズ製作⁰⁻⁵⁴⁻⁶や色消レンズ⁰⁻⁵³⁻⁵、干渉を利用した原子の操作^{P-77-5}などが好例である。またトラップ中の原子やイオンの波動性の制御が可能となり、各種量子状態(数、コヒーレント、スクイズド)の実現^{P-76-11,21}、巨視的量子状態の重ね合わせ(シュレーディンガーの猫⁰、波束の時間軸での観測^{P-76-14}など初等量子力学の教科書を見るようである。これら波動性が顕著となる超冷却原子は固体中の電子波より環境が明解かつ制御しやすいため、これまで固体電子では観測できなかったブロッホ振動^{P-76-24}など基本的現象の観測が可能となる一方、マイクロ波共振器QEDでの原子波を反映した現象の検討^{P-76-22}など基本的問題を提起している。さらに昨年アルカリ原子で磁気光学的トラップ(MOT)と偏光冷却、蒸発冷却によりボーズ凝縮(BEC)が実現し(⁸⁷Rb, ⁷Li [散乱長が負のため議論がある]²³, ²³Na, 総合解説⁰⁻³)、光学でのレーザー出現に対応するものとして注目されたが³、その後基本的特性の理解に向かっている。実験ではBECの協同的励起が観測され^{P-77-3,6}、また全光制御によるBEC実現に向かったの努力^{P-76-15}もなされている。理論面では系を特徴づける基本的パラメータがS波の散乱長だけであるため曖昧さの少ない議論が可能であり、フェルミオン(⁶Li)での超流動^{P-76-1}、2つのBECの干渉^{P-76-2,10}、2成分系のBEC^{P-77-16}、レーザー光による散乱長の制御^{P-77-14}など興味ある提案がなされている。

他にレーザー冷却技術を活用した研究として、冷却原子での冷衝突^{P-76-11}、不安定核のトラップによる分光(アルカリ原子²¹⁰Fr^{P-76-19}, ⁷Be¹⁰)、高速イオンビームの横方向冷却^{P-77-4}など多数あり、さらに基礎物理法則の検証実験でも重要な技術となっており²³この分野の研究の応がりをみせている。

非線形光学分野ではフェムト秒光パルスを利用した研究が活発で、従来型の分光のほかに、単一または半周期の超高速電場パルス発生^{P-76-14,21,77-13}、THzフォノン発生^{P-77-17}、THz輻射の発生制御^{P-21-21}、電子遷移の量子干渉を利用した吸収を伴わない屈折率増大^{P-76-21}(応用:小さい群速度、非線形性の制御)などが示された。また、超短パルス(サブピコ秒)を希ガスジェットに照射することによる高い高調波(軟X線領域)の発生が話題のひとつとなっている¹³。例えば、Nd:YAGとHeで141次(75Å)、Ti:Al₂O₃とNeで109次(74Å)、KrFとHeで37次(67Å)などで、当初の予想に反して変換効率がイオン化ポテンシャルとponderomotiveエネルギーで決まる次数まで高くかつほぼ一定である^{1-21-1,P-77-9}。この限界も原子系のコヒーレントな重ね合わせ状態⁰⁻⁵³⁻⁴やさらに短いパルス(~10フェムト秒)^{P-77-9}での励起で突破できる可能性がある。レーザー誘起の量子干渉を利用した現象の報告も、電磁誘起透過(EIT)や波束を利用した同位体分離^{P-77-6,P-77-17}、生成状態の制御^{P-77-12}、高効率波長変換^{P-77-21}、反転分布なしの連続発振や利得^{P-76-12,0-54-3}、固体水素での誘導ラマン散乱²³など依然多彩かつ活発である。

微小共振器および非古典光発生に関する分野では、有機色素微小共振器の実験で数状態発生の可能性^{P-76-6}が指摘され、微小球からの発光^{23,0-54-3}、SHGによる振幅スクイズド光発生¹、明るいスクイズド光¹⁻¹⁷、半導体接合でのシュタルク効果を利用したサブポアソン光発生の指摘^{P-76-18,2}、スクイズした真空の密度行列の観測^{P-77-14}、ソリトンパルスのフィルタリングによるサブポアソンパルスの発生^{P-77-18,10}などが報告された。

近接場に関しては顕微鏡(SNOM)関連で着実な進歩を遂げているが、特異なものでは近接場ホログラフィー^{P-77-16}の話題がある。

ナノ加工技術の進歩が続いている^{a-8}(シンポ⁰)。例えばフォトニック結晶による導波路で90°の曲げが実現したり^{P-77-18}、フォトニック結晶での非線形光学過程の増強など応用面の広がりも見せている^{1,2,22,23}が、この技術は物理を牽引しており三次元結晶や微小共振器、

SNOM など多方面での飛躍のためいっそうの基礎技術開発が期待される。

(山田)

2. 結像素子・光学機械

ミノルタ 向井 弘
姫路工大 木下博雄

2.1 一般的な結像素子, 光学機械

結像系関連の光技術は, 応用範囲がエレクトロニクスとのかかわりを深め, よりマイクロなもの, 高精度なもの, 多機能なものが求められてきている。従来型の単機能の幾何学的な光学系から, 並列処理や微小領域に向けたマイクロレンズや, 自由度と多機能性に向けた回折型の光学系へと研究開発が加速されている。

2.1.1 光学素子

(1) 幾何光学的素子

画角 160 度の広画面な被写体を, 球面の像面上に良好に結像する双曲面形状をした単レンズが設計的に示された¹⁻⁵。

ポリマーの弾性的フィルムと液体とを使い, 圧力をかけることで焦点距離を変化させる実験がされ焦点距離が約 10% 変化したことが確認された⁶⁻¹⁰。

CCD には, 感度向上のため従来よりマイクロレンズアレーが付加されているが, より光電変換効率を向上させるために, 受光面とフィルターの間に層内レンズをオンチップ化した構成が提案された¹¹⁻¹²。

(2) 回折光学素子

光のもつ無誘導性, 広帯域性, 高速性を生かして電気配線を光に置き換える研究がさかんにされている。チップ間の光配線用に光を投受光する目的で計算機プログラムをアレーレンズとして用いた例が示された⁴。

回折光学素子を使用するうえでの課題である回折効率を向上させる試みも提案されている。回折格子の界面を屈折差の少ない部材で構成することで広い帯域での回折効率が向上することが報告された¹⁻¹⁸。また, 液晶と ITO 膜で構成される矩形の回折格子は, 単一波長では 99% の回折効率を示すことが報告された¹⁻¹⁴。

2.1.2 光学機械

(1) 画像結像装置

近赤外で用いられる結像装置において, 対物光学系と再結像光学系の組み合わせで 180° の画角を有するパノラミックな光学系が設計された¹⁹⁻³¹。

写真用レンズへの回折の応用として望遠レンズやトリプレットレンズに回折型レンズを用い, 色収差と像面湾

曲が良好に補正された応用例が報告された¹⁻¹⁰。

レーザープリンター, デジタル複写機用の光学系において, 2 つのアナモフィックミラーを用いて色収差のない走査光学系が提案された⁴。

レーザーキャナー装置において, 収差特性と回折特性の良好な計算機プログラムを用いた光学系を採用することが提案され, 性能解析が示された²。

(2) 光ディスク

光ディスクの傾きによって起こる収差を, コマ収差可変の光学系を用いて補正するシステムが提案された¹⁻³⁵。DVD 用光ヘッド光学系として, 屈折型レンズ表面の一部に回折型レンズを付加し 2 焦点レンズが達成された¹。

(3) 内視鏡, 顕微鏡

高性能が要求され, かつ製造しやすい領域に GRIN レンズを活用する試みがつづけられている。内視鏡用のリレーレンズにラジアル方向の GRIN レンズを用いた場合の, 理論的解析と設計例が示された¹⁻³⁴。また, 顕微鏡の対物レンズに弱いパワーを有するラジアル方向の GRIN を用いた高性能な設計例が示された¹⁻²⁸。

レーザー顕微鏡の対物レンズに回折型レンズを応用し, 2 波長で完璧に色補正し, 回折によるフレアーはピンホールでカットした設計例が示され, また輪帯照明系への回折格子の応用も報告されている¹⁻¹⁰。

(4) 表示装置

液晶プロジェクターの照明光学系として, 回折格子を用いて円形の光源を液晶形状に合致した光源形状に変換し, 光の利用効率を高める光学系が提案された¹。

液晶上に平板マイクロレンズアレーを配置し, 3 原色の入射角度を変えることで光の利用効率を約 3 倍に向上した光学系が開発された¹⁻⁹。

2.1.3 光学設計理論

レンズの自動設計の DLS 法において, 変数の差分量を遺伝的アルゴリズムを使ってきめることにより, 収束性のよいアルゴリズムの提案がされた¹⁰⁻¹²。多次元変数空間の中の局所解を探索するエスケープ関数法を用いて, 有効的な設計方法が実例をあげ検証された⁴。

ラジアル方向の GRIN およびセルホックレンズの色収差の解析が行われ, アクロマティックなレンズを作るための指針が示された¹⁻²⁸。

回折光学系の応用検討がすすむにつれて, 設計手法や回折効率に関する研究に着実な進歩がみられる。回折光学系の設計手順と結像性能の評価計算結果が具体例により示された¹⁻¹⁰。また, 位相差関数法を用いて 3 次収差

係数や色収差へ展開し、マクロに回折光学系を評価できることが示された^{E-10}。

回折光学系を用いるときに重要となる回折効率の検討も進んでおり、ベクトル回折理論を用いることで、波長オーダー以下の各種回折格子の回折効率をより厳密に導いたことが報告されている^{E-10}。

2.1.4 加工、評価測定

(1) 加工

光学表面をレーザーを使って加工する試みが提案された。ArF 紫外線レーザー光 (193 nm) により樹脂やガラスの連続した光学面を直接高精度に加工できることが示された²。KrF 紫外線レーザー光 (248 nm) を PMMA に照射し、活性化した表面にスチレンを拡散させることでマイクロレンズアレーを作る技術が開示された^{h-22}。

大口径の GRIN レンズを作るのは技術的課題が大きいが、ポリマーで直径 70 mm の大口径のラジアル GRIN が、カーブをつけたモールドに拡散共重合の手法を用いて製造したことが報告された^{h-1}。

回折格子はエシュレット型の効率が高いが、製造が難しい。近年リソグラフィ技術を用いて多段構造の回折格子が提案されている。多層構造にする製造法において、フォトリソとアルミニウム層を交互に積層しエッチングすることで、薄い多層構造の回折格子が高効率で製造できる技術が報告された^{h-22}。

(2) 評価測定

非球面の応用がさかんにになり、生産現場で高精度にかつ容易に面の評価が可能な測定機が望まれている。マツハツェンダー型干渉計を用いて非球面の面精度と偏心量を同時に測定する方法が提案された³。特に高精度な波面を解析する方法として、2つの回折格子を横ずらしする波面解析用の干渉計が報告された^{h-31}。

屈折率の分布は物質の内部構造で不均質なものであり測定の方法と精度が問題となる。屈折率分布を有したマイクロレンズの屈折率の測定を、回折の断層写真により3次元的に測定する方法が示された^{h-13}。また、屈折率分布のある平板を、2つの光束の一方に入れ2つの干渉縞を比較することで精度の高い屈折率分布が測定できることも示された^{h-16}。

(向井)

2.2 X線結像素子、X線光学機械

X線光学部品の応用としては多層膜を形成した反射縮小光学系を用いる X線縮小投影露光技術に大きな進歩がみられた。これまでは微細化性能の確認など個別技術を中心に検討が行われてきたが、米国の Sandia 国立

研究所等では位置合わせ機能をもつ装置を開発し、はじめて 0.1 μm のゲート長をもつ NMOS デバイスの開発に成功した。このシステムは連続供給可能な Cu のワイヤーをターゲットとしたレーザープラズマ X線源を用い、高速回転するスリットと He ガス雰囲気中で実用レベルまでデブリを低減させた。露光チャンバーは光学系とマスク・ウェハーステージとからなり、光学系には2枚の球面からなるシュバルツシルト光学系が用いられ、波面収差 1 nm 以下を実現している。この結果 0.4 mm ϕ の露光領域で 0.075 μm のパターンを形成している。ウェハーステージは $\pm 150 \mu\text{m}$ のストロークをもつ微調ステージと 100 mm \times 74 mm のストロークをもつ粗調ステージとからなる。微調ステージは16個の磁気軸受けで構成されており、位置ずれに対処可能なよう6軸構成となっている。位置合わせにはマスクとウェハーステージにモアレパターンを形成し、両マークのモアレ縞を CCD で検出する方法を用いている。検出分解能は 3σ で x, y 軸ともに 10~15 nm である。ウェハーステージは静電チャックで保持されており、ウェハーステージのそりを焦点検出機構により、 $\pm 0.15 \mu\text{m}$ の精度で合わせている。また、マスク、ウェハーステージ、光学系はすべて除振台に搭載されており、真空チャンバーの振動が伝わらない構造になっている。このシステムを用い、i線とのハイブリッド露光で 0.1 μm をもつ NMOS トランジスタの試作に成功している¹⁰。

非球面の評価技術としてはローレンスリバモア国立研究所がガラスファイバーを用いた干渉系を開発した。これは原理的には point diffraction interferometer であるが、ガラスファイバーを用いたことにより空間的自由度が高まり、ミラー単体の形状精度ばかりでなく露光光学系の波面収差を容易に求められる。原理はレーザー干渉系の光をガラスファイバーに導き、その端面を鏡面に仕上げ、ファイバー端面から発生する球面波を被測定物に照明し、その反射波面をガラスファイバーの端面のミラー面で再度反射させ、この波面を所定の時間遅れで発生する参照波面と干渉させることにより被測定物の形状精度および光学系の波面収差を求める方法である。この方法で $\lambda/2000$ の形状測定を可能としている。これらの非球面評価技術の進歩により加工精度も向上し、Tinsley 社では従来法である small tool を用いた計算機制御研磨技術と位相解析装置を付加したレーザー干渉系評価により非球面形状精度 0.3 nm (rms) を達成している¹⁰。また、露光光学系への熱の影響について放射光とレーザー X線のようなパルス X線とで比較検討が進められたが、12 mW の X線が入射したときのミラーの温

度上昇は放射光の場合で 0.18°C 、パルス X 線の場合 0.07°C であり、このときの熱変形量も最大で 0.022 nm 以下で、影響が少ないことを計算により明らかにした²。

光学素子開発では FZP の作成技術に大きな進歩がみられた。これまでは直径 $0.5\text{ mm}\phi$ で最外周 50 nm をもつ FZP は IBM、ゲッチング大学でしか製作実績がなかったが、NTT では X 線マスク技術を利用し、これにより $1\text{ mm}\phi$ で最外周 50 nm をもつ FZP を実現した²。この FZP はコンデンサ FZP として用いることもでき、NA の大きな明るい X 線顕微鏡が構成できる。また、反射型 FZP として楕円形状をした FZP の製作をも可能とした¹。

また、将来のコヒーレント光応用あるいは軟 X 線エリプソメトリー用として平坦性のよい多層膜ハーフミラーが製作された。これは多層膜の応力をやや引っ張り応力としかつ ECR-CVD による SiC 薄膜を下層膜として用いることにより平坦性と反射率の低下を防ぎ、 10 mm 角の領域で平坦性 1 nm (rms) 以下、透過・反射率ともに 27% をもつハーフミラーを実現した²。今後の X 線レーザー等への応用に大きな期待がもたれる。

多層膜形成技術では Mo/Si が 13 nm の波長域で高反射率が確認されているが、X 線レーザー等の共振ミラー用には耐熱性が課題であった。Si 化合物、Mo 化合物とするなどの各種案が検討されたが、C (カーボン) 層を中間層とする Mo/C/Si/C の構造とすることにより 700°C の加熱後の反射率の低下もなく、反射率も Mo/Si 同等の値が得られている²。

また、製膜時のディフェクトの低減に対してはローレンスリバモア国立研究所がパーティクルフリーのイオンビームスパッター装置を開発し、膜形成を進めた。装置をクラス 1 の仕様とし、サンプルの出し入れにロボットを導入するなどしてディフェクトの低減を図り、 0.03 個/cm^2 以下を実現した。この場合プラズマ室とサンプル室とを分離したことによる効果が大きいと考えられる¹⁰。

以上 96 年度は X 線光学素子の個別技術、システム化技術に大きな進歩がみられており、今後国内のあちらこちらで運転される放射光施設で各種応用が展開されるものと期待している。(木下)

3. 光応用計測

[一般]

執筆者都合によりキャンセルとなりました。悪しから

ずご了解ください。

[光ファイバー応用計測, 光応用測定器]

東京農工大 梅田倫弘

3.1 光ファイバーセンサー

1996 年の光ファイバー応用計測の研究分野における大きなトピックは、5 月に北海道大学において「光ファイバーセンサーに関する国際会議 OFS-11」が開催されたことであり、90 年代に入ってやや沈滞気味であったこの分野が、OFS-11 によって再び活況を呈し始めたことは想像に難くない。そこで、OFS-11 での研究報告から光ファイバーセンサー研究の動向を探ってみよう。

OFS-11 には招待講演を含めて 170 件弱の研究報告があり、ファイバーセンサー技術に分類されるものとして、光通信ネットワークのための光ファイバーセンサー (13 件)、ファイバークレーティング技術 (14 件)、干渉・偏光応用ファイバーセンサー (14 件)、ファイバーセンサーのための光学素子、材料 (13 件)、低コヒーレンス干渉 (5 件)、半導体レーザー (4 件)、その他 (5 件)となっている。一方、測定対象別に分類にすると、応力、歪み、温度センシング (27 件)、電流・電圧・磁場センシング (19 件)、生物化学センシング (14 件)、振動音響センシング (12 件)、回転センシング (10 件)、その他 (13 件)となっている。96 年は光ファイバージャイロが開発されてから 20 年目の節目の年にあたり、OFS-11 でもスペシャルセッションが設けられ、リング共振器型、希土類ドープファイバーレーザー、プリルアンリングレーザー等の最新研究が報告された。光通信用ファイバーセンサーは、光通信ネットワークの完成とともに要求され、光ファイバーの故障センシング、浸水センシング、その他高機能センシングに対応した技術開発が進展している。ファイバークレーティングは、この 2、3 年間に大きく進展した技術で、光ファイバーセンサーのなかでももっとも注目される研究テーマとなっている。前述の光ファイバーセンサー技術に分類した 14 件のほかにも物理量をセンシングするための分類にファイバークレーティング技術を用いたセンシング手法が含まれており、例えば、歪み、温度、振動、磁場等のセンシングに使われている。また、光ファイバー共振器内に生じる誘導プリルアン散乱現象を用いた温度、歪み、回転センサーも注目を集めている。さらに希土類元素をドープした光ファイバー増幅器や光ファイバーレーザーをセンシングデバイスとする圧力、歪み、回転、電流等のセンサーが報告されている。これらの技術は、機能型ファイバーセンサーとして位置づけられ、従来技術による

ファイバーセンサーの性能を超えるものと期待されている(以上は、OFS-11のConference Proceedingsを参考にした)。

応用物理学会講演会でもファイバー応用計測に関する研究が30件以上あり、一時の停滞期に比べ持ち直しているようである。この背景には先に述べたファイバークレーティングや光ファイバーレーザー等の新規な技術の立ち上がりによるところが大きい。ファイバークレーティングの研究では、 $a\text{-GeO}_2:\text{SiO}_2$ の光化学反応¹、常磁性欠陥の生成メカニズム²や水素処理ファイバーの屈折率変化測定¹等のファイバークレーティング生成機構を解明するための基礎的な研究の報告がある一方で、低温度センサー¹、線形・非線形チャープフィルター²あるいはファイバークレーティングによる光スイッチング²、ファイバークレーティングを用いたファイバーレーザーの緩和振動²等の新規な現象の報告が興味を引いた。また、傾斜ファイバークレーティングによるファイバー偏光素子としての可能性¹が言及されている。各種物理量のファイバーセンサーとしては、表面プラズモンを用いた屈折率センサー²、ファイバーを利用した簡便な回転角センサー²、先球ファイバーを用いた振動センサー²、Erドープファイバーによる蛍光利用温度センシング²が報告され、また、分布センサーとして異種・異径コアファイバーを直列に接続したOTDRセンサーシステム²が提案された。また、光熱現象を利用した光ファイバークンチレバー流体密度センシングや膜厚センシング¹、光ファイバーと形状記憶線を組み合わせたマイクログリッパ²、コイル状のファイバークロベントセンサー¹等の地道であるがユニークな研究がいくつか報告されている。

近年、ファイバーをプローブとして利用する近接場光学顕微鏡法(SNOM)の研究開発が活発である。特に96年応用物理学会講演会の分科会として「3.2 近接場光学」のセッションが新設され、これまで、近接場光学関連研究の発表分科会が分散されがちであったものが集約されるようになり、この分野の研究がさらに発展する環境が整備された。SNOM用のプローブとして、集束イオンビームによる先端の穴加工¹、樹脂コーティングによる開口作成¹、色素やフォトポリマーのプローブ先端への固定化による機能性プローブの実現の試み^{1,2}、無電解メッキ法によるプローブ作成²、非対称ファイバーによる近接場励起光の高効率化などが報告され、SNOMの高分解能化、高機能化への研究がますます進展している。特に、高次導波モードを励起させる非対称

ファイバーによる近接場光励起の研究は、従来の対称モード励起光に比べ100倍から1000倍の光出力が得られるためSNOMの高速走査化、あるいはSNOMの光メモリーへの応用が現実味を帯びさせるものとして注目される。

3.2 光応用測定器

光、レーザーを用いた計測装置は、ひとつの産業分野を形成するまでに成長しており、関連企業が多数参加する展示会も毎年盛況に開催されている。ここでは、96年に開発された光応用計測装置の一部について概観してみたい。

情報通信、マルチメディアの大きな進展がみられた96年は、光ファイバーセンサーと同じように、計測装置においてもそれらの影響がみられる。例えば、光通信用の検査装置(光ファイバーコネクタフェルールの自動測定装置、光ファイバー画像処理検査装置、小型光パルスOTDR試験装置)やICのマスク、ウエハー、光ディスク等の検査装置の開発が続き、商品化された。また、光ディスクや光学部品、液晶素子等の光弾性試験装置や自動複屈折測定装置が複数開発されたのも96年のマルチメディア社会の発展によるところが大きい。一方、レーザードップラー振動計やファイバーストレインゲージ、内径表面欠陥や外径測定器、三次元形状入力システムの開発も行われている。また、磁気ヘッド評価用マイクロカー効果測定装置、超高速分光放射計、分光エリブソメトリーによる自動膜厚測定といった従来法に比べ著しく性能が向上した計測装置が実用化された。このほかにも96年には光・レーザーを利用した計測装置の開発・実用化は多数なされたが、紙数の制限もありこの程度にとどめておく。いずれにしてもファイバークレーティングや近接場光学の進展といったシーズは生まれつつあり、あとはそれを使いこなすニーズの掘りおこしと開発・実用化に向けての努力であろう。世界に通用する光応用計測装置の出現を期待したい。

最後に、調査資料をご提供いただいた北海道大学岡博士に感謝します。

4. 光情報処理

日本女子大 小館香稚子

4.1 光コンピューティング

1996年4月21日から5日間、仙台で光コンピューティングの国際会議(International Topical Meeting on Optical Computing)がフォトニックススイッチング国際会議(International Topical Meeting on Photonics in

Switching) と同時に開催された。日本での開催は1990年の神戸から6年ぶりでもあり、招待、一般、ポスターの講演を含め118件の発表があり、活発な議論が展開された。従来からこの会議での主要なテーマとなってきた光インターコネクションについて、初日の招待講演をはじめコンピューター内のボード間、チップ間の配線の固定接続やスイッチや交換機能をもつ柔軟配線などを含めた光電融合集積技術に関する講演があった。特に並列光インターコネクションの方法は経済性や消費電力の点からも有望で、面発光レーザーや空間光変調素子のような二次元光半導体デバイスを用いる自由空間並列処理システム⁸⁻¹²やピクセルに論理やスイッチングなどの処理機能を付加して大容量の光信号処理システムの構成素子を構成するスマートピクセルの発展とその応用を前提としたアーキテクチャーの研究が注目を集めていた。そのために2つの会議のジョイントセッションとしてスマートピクセルの講演会場が設けられ⁸⁻³、GaAs基盤上の250 μm 角の1ピクセルに面発光レーザー、MSMフォトダイオード、3つのFETを集積し、220 MHzの速度で300 μW の微弱光でスイッチングできる発光型スマートピクセルの招待講演を含め9件の講演は盛況であった。これらスマートピクセルに関する応用はますますさかんになることが予測されるが、光と電子の融合集積化および自由空間の集積光学技術の発展にその性能向上がかかっている。

4.2 回折型光学素子の応用

空間並列性の高い光インターコネクションシステムの実現のためには、セルフオックレンズと平板マイクロレンズを用いたマザーボードの提案などがある⁸⁻³。一方、近年のリソグラフィ技術の進歩に伴い、バイナリー/マルチレベル化が容易となり、高効率を得られ、新しい機能を付加できる回折光学素子を用いたものが、前項のピクセルの小型化という点でも期待され、研究が活発化している。特に、1月には“ホログラムと回折型光学素子”というタイトルの第22回冬期講習会と6月には“回折光学系設計の基礎とレンズ系への応用”の光設計グループの研究会が開かれ、両会とも、関連学会のメンバーを含め予想を上回る多数の参加者があり、優れた発表があった。また、この1年程は光ディスクのヘッド部に回折型のホログラムレンズを用いDVDとCDの両方を読むための研究がさかんになっている²。さらに、液晶素子の位相変調特性を利用した波面制御を大気ゆらぎの補正²や、デジタルブレード化して衛星間光ビーム偏向などに適用する補償光学系の研究が進められてい

る³。これらの液晶素子の電極による波面歪みの除去のための3レベルのタルボット格子や導波路状アレイイルミネーターなどが提案されている³。また、屈折型素子と組み合わせたスマートオプティクスとよばれる機能素子^{4a-12}やイメージ結像光学系³などが提案され、急速な実用化に向かっている。

4.3 画像処理

画像処理に関する研究では、白色再生のキノフォームや多元接続用のキノフォームフィルターの有効性、およびシミュレートッドアニーリングによりCGHの再生像の改善効果の検討など従来から手法を用いた研究³とRGBカラー画像の性質を生かした適用やブラインドデコンポリューションアルゴリズムを基として複数枚のスペックル画像情報を抽出する⁴⁻⁶などの報告があった。また、ニューラルネットワークでは、新しいフィルタリングの手法として注目されているウェーブレット変換による光学的な前処理と組み合わせ汎用能力の拡大を図った検討²やカオスのもつ柔軟性をニューラルネットワークに取り入れた連想メモリ^{2,3}などカオス現象の積極的な利用の試みも報告されている。

さらに秋の応物学会では、“光学技術と情報システムセキュリティ”に関するシンポジウムが開催され、指紋照合装置⁴⁻⁵、並列演算を用いた疑似乱数の発生とバーナム暗号化をはじめとするパターンマッチング技術³などの活用の可能性が示唆された³。情報セキュリティ技術の要求が高まる中、従来から積み上げてきた光コンピューティングをはじめとする光技術の特性をセキュリティ技術にいかに関与できるかに、これからの研究分野の発展がかかっているといえる。

5. 画像表示

NEC 谷 千束

1. マルチメディア時代のディスプレイニーズ

ビジュアル情報が中心となるマルチメディア時代には、画像表示を担うディスプレイはますます重要となり、特に図1に示すように、高画品質化、携帯化、高臨場感化などのニーズへの対応が主要課題となる⁹。これらの課題に対する最近のフラットパネルディスプレイ(FPD)関連技術の主要な開発進展を図2にまとめて示し、その要点を以下に述べる。

2. 高画品質化と壁掛型

FPDの代表格LCDはノートPC市場とTFT技術の登場で第3期の工業的発展を築き⁸⁻⁸、さらに大面積・高画品質を目指している。特に最大の弱点であった視野

角の改善に関しては、一昨年超広視野新液晶方式 IPS モードに続くやはり新液晶方式の VA モードの開発、新しいディスコティック化合物による広視野化フィルムの開発などが注目される¹¹。CRT の代替を狙って広視野パネルも 23 インチサイズのものも開発されている。

一方、HDTV 用途などをターゲットとする大画面壁掛型新市場を狙った PDP の開発・製品化競争が激化してきている⁹。昨年は 46 インチ、SXGA パネルも開発され、性能的にも輝度 450 cd/m²、コントラスト 300:1 など改善結果が報告されている。いっそうの高画質化と

ともに消費電力、コストの低減が今後の課題であろう。また TFT の代わりにガス放電のスイッチング効果を利用するプラズマ駆動の 25 インチフルカラー LCD⁹ は製品化の動きにあるが、今後広視野型液晶を採用した 40 インチクラスの開発に進むものと思われる。

3. 超省電力化—携帯型

情報ツールの携帯化ニーズに対しては、電池持続時間の点からディスプレイの消費電力は数十 mW 以下が要求され、バックライトを使用しない反射型 LCD の開発が非常に活発である。光効率を高め明るい表示を得るために、画素開口率アップ改善に加え偏光板レスあるいはカラーフィルターレスの新液晶方式が各種提案・試作されている⁹。今年あたりから 1/4 VGA~VGA の多色反射型パネルが携帯ツール用に製品化されていくと思われるが、十分に明るいフルカラー・動画対応にはまだ課題が多い。一方、軽量化、低コスト化に関して、周辺回路も内蔵できる低温 p-Si TFT の開発も進展しているが、特にプラスチック基板上に形成した AMLCD の開発発表は注目される¹²。

4. その他

高臨場感の立体表示や HMD の開発・製品化も活発化している。メガネフリーのレンチキュラーレンズ方式は狭視野改善の各種技術開発が試みられている。広視野の大画面虚像を見る HMD は昨年わが国でも製品化が

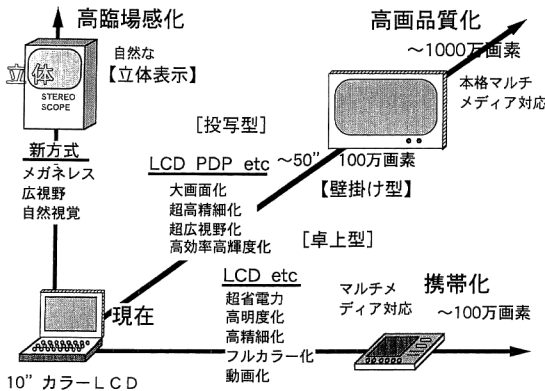


図1 マルチメディア時代におけるディスプレイの主要展開。

	LCD	発光型	その他
大画面化	PDLC投写型製品化 600 lm/250W	壁掛け型	高臨場感化
	パネル接合40" TFT-LCD	46" PDP SXGA 200 nit	レンチキュラー方式 立体表示 視野 拡大技術開発中
高品質化	高画品質化	25" プラズマアド レスLCD 製品化	PDP動画偽輪郭 低減技術開発中
	カラー-STN 21" XGA	超広視野 IPSモ- ドTFT-LCD 23"	HMD用超高精細 AM-EL開発 2000 lip
	超広視野VAモ- ドTFT-LCD 15"	超広視野IPSモ- ドTFT-LCD 23"	
省電力化	4分割画素広 視野方式	広視野化光学フ ィルム	SCE方式FED 3" フルカラー 高輝度 640 nit
	プラスチック基板 上に低温 pSi-TFT	回路内蔵低温 pSi 3.2" SXGA	有機EL モノクロ 256 x 64 dot 100 nit CR=100
	AM/GH 反射型 512色 R=20%	MIM/TN 6" 反射型 4096色 VGA R=30% CR=10	
	3層GH反射型 減法混色方式 提案	携帯型化	

図2 最近のディスプレイ技術主要進展。

始まったが、疲労の問題は完全には解決されていない。

新しい表示デバイスでは、有機 EL は発光効率・寿命が改善され、モノクロの小型ドットマトリクスディスプレイへの実用化は近い。また、FED では導電超薄膜をエミッターとする新規な方式による高輝度、フルカラーの開発試作品が発表され、大きな話題となった¹²。動作寿命とともに適用する市場開発が課題であろう。

6. 光記録

松下電器 加藤 誠

6.1 D V D

デジタルオーディオディスク (CD) の実用化から 14 年で DVD が誕生、映像と音声ともにデジタル圧縮の技術規格が採用され、さらに民生用ビデオディスクがコンピューター用の外部記憶デバイスとしても共通に使えるようなファイルシステムの共通化が図られた⁴⁰。また、ROM だけでなく write once 型メディアと書換え可能型メディアの規格も統一して導入され、DVD はマルチメディア用途に広汎な普及をめざす。半導体レーザー波長は CD の 780 nm から DVD の 650 nm に、対物レンズ (非球面成型) の開口数は 0.45 から 0.60 と高密度化が図られ、光ビームはスポット径で 1/2.56 に絞られる。一方、媒体はピット長を CD の 1/2.08、トラックピッチは CD の 1/2.16 として、物理的に 4.6 倍の容量を実現。また、8/16 変調方式で変調効率は CD の 1.06 倍に、エラー訂正符号と同期信号では 1.40 倍に改善して、全体では CD-ROM (モード 1) に比べて 6.8 倍密度の 4.7 GB (片面単層) が規格化された⁴⁰。両面/2 層記録ディスク⁴¹ では、さらに約 4 倍の容量が実現される。映画会社、コンピューター業界を巻き込んだ DVD の開発は、光ディスク装置、媒体はもちろんのこと、映像素材の MPEG 2 圧縮をはじめとするソフトのオーサリングプロセス⁴⁰ を含む大規模な技術を集大成するもので、現在なお進行中である。

書き換え型媒体として外部磁界不要の相変化光ディスクはダイレクトオーバーライトが簡単で、再生専用ディスク (両面貼合わせ可) との互換をとりやすい。容量 668 MB の相変化媒体と CD-ROM 互換可能で、きわめて簡素化された集積化光ヘッド^{4-1B} を用いる録再システム (PD)^{4-1B} の商品化に続いて、ランド・グループ記録を用いた 2.6 GB/片面の相変化光ディスクが 1995 年までに実用水準に達した^{4-1B}。DVD は、今後 ROM と同一容量の DVD-RAM、さらにハイビジョン対応の 3~4 倍密度へと拡張されてゆこう。

6.2 光ディスク高密度化、簡素化と互換性

電子ビームマスタリングでトラックピッチ 0.3 μm 、ピット長 0.175 μm での記録例、また波長 351 nm で光褪色性色素を用いた超解像マスタリングでは 20% 程の密度向上が報告された²。ピット形状が異なる 3 種のピットを円偏光ビームで照射し、偏光ビームスプリッターと差動検出器で読み取る多値化検討がなされた²。青色光で CD サイズに 18 GB 収容して超解像読み取りが可能とされる。

光磁気ディスクは超解像 (MSR) 方式の開発が活発である^{1,2,41,4-1B}。赤色光を用い、CAD-MSR に組み合わせ、LP-MFM, LP-R, 遮光方式超解像光学系、PRML 信号処理の総合効果により CD サイズに 7 GB 以上の容量を実現する提案と要素検討がなされた²⁴。RAD-MSR では NRZI 磁界変調記録で 0.2 μm マークを記録し、立ち上がり 8% 立ち下がり 14% のジッターで再生されている⁴⁴。磁区拡大再生方式の提案では 300 nm 磁区が 3 倍に拡大され、再生後瞬時に縮小される実験が示された⁴²。ランド・グループ記録の発展では、クロストークおよびクロスレイズの極小となる深い溝形成の条件が光磁気ディスクで検討された^{2,40}。近接場光学と SIL を用いた超解像の試みは、磁気ディスクヘッドと同様の air-bearing slider に SIL を取り付ける工夫により高速読み出しを可能にした^{41,43,44}。近接場光学でなく、作動距離 75 μm 、NA 0.80 の対物レンズを SIL とも 2 枚構成として、CD の 7 倍密度ディスクを再生した⁴¹。光磁気ディスクの再生専用型、ノイズ解析、波長多重記録⁴ も報告された。

相変化媒体は青色光⁴¹ でも高い CNR が得られ⁴¹、下位互換は容易である。しかし、録再メカニズムが光磁気媒体に比べて簡単な反面、MSR のような超解像記録・再生技術が実現されていない。光源の短波長化以外の新規高密度化手段として、マークポジション記録における PRML 検出方式¹、位相差トラッキング信号の積分値をクロストークキャンセルに用いる信号処理方式⁴¹、超解像レンズ (フィルター)⁴¹、coaxial dual beams を用いた再生特性の改善^{4-1B} 他の提案が今後さらに吟味されよう。

赤色レーザー再生の CD-R, CD-E, 色素媒体による 4.7 GB 容量 DVD-R の実験、波長選択性液晶ポリマーを用いた多層ディスクなどの媒体からの高密度化¹⁰ 検討もなされた。

光ヘッドは DVD と CD, CD-R 互換、簡素化を考慮した光学系として、2 焦点ホログラムヘッド、2 レンズ

ヘッド，2レーザーヘッド，輪帯もしくは液晶シャッターを用いる方式，チルト補正の検討^{1,2,d-1B,41}，全光学系一体化ホログラムヘッド^d，VCSELと光検出器をモノリシック集積化したホログラムヘッド²，マルチSHG導波路，あるいは全モノリシック集積化ヘッドが報告された⁴¹。

6.3 ホログラフィー記録

米国の産・官・学の国家プロPRISM，HDSS，ARPAに支援されたデジタルホログラムの研究結果が一斉に発表され始めた^{39,41,h-14,d}。これらは，最近30年間に徐々に進展してきた1000多重程度の体積記録が可能な材料と，革新著しい周辺技術に着眼した第2世代ホログラムメモリーといえる。いまだ材料と光学系方式評価の段階と思われるが，今後明らかにされるであろう高速並列処理デバイスのできいかんによっては光ディスクが到達できない高転送レート，メモリー容量，あるいは画像認識機能の実現等に発展するであろうか。波長可変レーザーを用いる多重記録²，さらにEu³⁺-doped Y₂SiO₅で実証された極低温PHB³⁹，また室温PHB^{b-1}の今後の進展が期待される。

7. オプトエレクトロニクス・光デバイス

NTT 永沼 充

NTT 脇田 紘一

7.1 光通信分野

1996年の光通信分野のトピックスは波長多重通信(WDM)と光アクセス系の研究開発である。

2月に米国で開催された光ファイバー通信国際会議(OFC'96)において，1テラビット(Tb/s)を越すWDMシステム実験に関するポストデッドラインペーパーが日本の2つの研究機関と米国から相次いで報告された¹⁶。うち2件は20Gb/sを50あるいは55チャンネル波長多重し，残りの1件は10Gb/sを時間領域と波長領域でそれぞれ10多重している。これらに端を発し，9月にオスロで開催された欧州光通信国際会議(ECOC'96)では3値符号化方式を用いた2.6Tb/s(20Gb/s×132ch)が日本の別の機関から報告された²⁰。この報告ではチャンネル間隔は33.3GHzに設定され，0.6bit/Hzの高い周波数利用効率を得られている。

伝送容量の競争では世界を席巻しているわが国であるが，実用化システムの構築という点からはやや出遅れているという感否めない。欧州ではACTSプロジェクトを中心に主要都市間のネットワーク構成の具体的な検討が開始され，米国ではMONETプロジェクト等では

表1 応用物理学会講演会光エレクトロニクス分野の発表件数推移。

中分類分科名	92年	93年	94年	95年	96年
半導体レーザー工学	194	207	173	151	131
光検出	19	16	16	20	23
光記録	80	86	69	62	53
光制御	162	160	170	145	161
光ファイバー	32	66	50	55	71

シントンDCやニュージャージー州において実用を謳った開発が加速されている。日本で実際に敷設されている分散シフトファイバーがWDM方式ではチャンネル間クロストークの低減に不利であるという事情も影響していると思われる。

光アクセス系デバイスの研究開発に関しては，低コスト化技術を軸に日本が世界をリードしている。電子情報通信学会大会における光エレクトロニクス分野の投稿論文数は光デバイスの実装技術などを中心に増加の一途をたどっており，低コスト光デバイス技術に関連したシンポジウム，パネル討論などの企画がさかんであることもこれを裏付けている^{14,15}。

表1に最近5年間の応用物理学会の光エレクトロニクス分野の発表件数の推移を中分類分科名別に示す。半導体レーザー工学，光記録の分野が低調になってきた反面，光制御，光ファイバー分野が相変わらず活発である。光記録，半導体レーザーは他の項目で取り上げられるので残りの分野について国内の動向を中心に概括する。昨年はOECC'96，PS'96，MWP'96など光通信と光デバイスに関連する国際会議が日本で開催され国内からの投稿も多かったものでこれも参考にした。

7.1.1 光ファイバー

プラスチック光ファイバー(POF)は，通信波長帯で損失が大きく使えないという欠点があったが，フッ素化ポリマーをベースにすることにより1.3μmでも損失50dB/kmのPOFが作製できることが示された²¹⁹。シリカファイバー用に開発されたレーザーが使えるため光加入者系の「最後の1マイル」から宅内LANまでのファイバーとして有望かもしれない。

分散補償や波長フィルターなど幅広い応用が可能なファイバークレーティングはGeドープシリカファイバーでは製法もほぼ確立し実用システムへの適用の段階に入ってきた¹²。

1.5μm帯のファイバーアンプ用Erドープシリカファイバーは実用化され，WDMニーズにあわせて広帯域化と利得平坦化が進められている。1.3μm帯ではPrドープフッ素化物ファイバーが良好な増幅特性を示すことが報

告され、ホストファイバーの長期信頼性評価の段階に入りつつある。

7.1.2 光検出

報告件数の少ない通信用光検出器の中で目立つのは導波型 pin フォトダイオード (WG-PD) である。当初キャリアー走行時間制限を回避した越高速光検出器として開発されたが、石英系光導波回路との高効率レンズフリー実装が着目され、低コスト光加入者用モジュールの実現に向けて研究開発が進められている^{1,2}。これに対して、欧州では WG-PD はモノリシック集積を主眼に研究されており、8 ch の 10 GHz 偏波無依存 WDM 光検出器や 3 dB 帯域 27 GHz の受信 OEIC が報告されている²⁰。

APD については懸案であった信頼性に関しメサ構造でも 50°C の環境下で推定寿命 10 万時間が示され、イオン注入を用いたプレーナ型 APD とともに高速 LAN や近距離中継系への適用が期待される²⁰。

7.1.3 光制御

(1) 光変調器

高速電界吸収型 (EA) 変調器は 3 dB 帯域 50 GHz が報告されて以来、低駆動電圧化が進み、0.9 V_{PP} で 40 Gb/s のモジュール動作特性が報告された²⁰。さらに、片端面に高反射コートを施し他端で光結合する二重通過型変調器において 0.45 V で 20 dB の消光比を得ている^{21,9}。変調器長が短くできるので高速化しやすい他にファイバーとの結合が 1 カ所ですむという利点もある。

EA 変調器と DFB レーザーのモノリシック集積の研究もさかんである。2.5 Gb/s は市販され、10 Gb/s も実用化のレベルにあり、研究フェーズでは 40 Gb/s モジュールの報告がある^{2,20}。

(2) 光スイッチ

光制御光スイッチは超高速を指向した基本的動作確認の段階にあり、電気(熱)制御光スイッチは光クロスコネクタ等への応用を念頭に置き、速度よりも低損失化、偏波無依存化、大規模化、実装容易性などに研究開発のベクトルが向けられている^{17,20}。

ECOC '96 の光スイッチのセッションの論文 4 件のうち 3 件は次に示す日本の論文であった。1×4 スプリッターと 4 つのレーザーアンプ型ゲートスイッチをモノリシック集積した無損失光スイッチモジュールが実現されている²⁰。スイッチチップの作製には選択 MOVPE 成長法が用いられており、偏波無依存化も可能なことから低コストで大規模なスイッチマトリクスを提供できる可能性がある。64 個のマッハツェンダースイッチを集積

した偏波無依存 8×8 LiNbO₃ スwitchマトリクスは挿入損失 7~11 dB であるが駆動電圧が 47 V と高いのが難点である²⁰。石英系導波回路により構成した 8×8 熱光学スイッチマトリクスは速度は遅いが挿入損失 5.1 dB、消光比 60.3 dB と高い光学特性を示す²⁰。

(3) その他の光制御デバイス

WDM システムのキーデバイスのひとつである波長スイッチでは相変わらず欧州が研究の中心で日本からの目立った報告はない。一方、波長フィルターは石英系アレイ格子 (AWG) フィルターが実用化され、本稿冒頭で述べた 2.6 Tb/s の WDM システムでも 16×16 AWG が用いられている。これを半導体導波路で作製しレーザー、フォトダイオード等をモノリシック集積した WDM 送信チップ、受信チップの開発も欧米が一步先んじて進めている^{18,20}。

50 GHz のモード同期レーザーの出力を AWG フィルターでスペクトル分解し 2 波長のビートをとることにより 350 GHz のサブミリ波の発生を観測した。このような光波とマイクロ波、ミリ波との境界領域が注目されつつある^{2,21}。LiNbO₃ の分極反転構造による SHG/THG の発生は相変わらずさかんで、超高速偏光器など新しい応用も出てきた²。

温度により動作波長が変化しないフィルターとしてアサーナル光導波路を用いた狭帯域フィルター²や非対称マッハツェンダー光回路を用いたフィルター^{2,18}などが報告されている。後者は InP 系半導体導波路を用いており他の光デバイスとの集積化が可能という利点をもつ。

導波型半導体光デバイスを低屈折率の石英系光回路やファイバーにレンズフリーで高効率結合するためにスポットサイズ変換導波路が開発されている。主として低コストアクセス系レーザーに集積されているが、最近は光変調器、半導体光アンプなどにも集積化されつつある。

(永沼)

7.2 オプトエレクトロニクス・光デバイス

本年 (1996 年) 4 月には OC '96 (光コンピューティング) と PS '96 (光スイッチング) が仙台で同時開催され、この分野での研究を刺激し、光インターコネクション関連の発表が増加した。

非線形光デバイスのここ一年の進展は、引き続き主として第 2 高調波発生 (SHG) と四光波混合による波長変換に集中した。光ディスクの記録密度向上を目的とした導波路 SHG の研究では、透過特性に優れ高非線形効果をもつ LiNbO₃, LiTaO₃ 結晶のドメイン反転を用い

た疑似位相整合 (QPM) 方式によって紫外光を発生することが各所で試みられた。LiTaO₃ 短周期分極反転構造で 50 mW の半導体レーザー (LD) 光入力に対し 30 mW の出力が波長 340 nm で得られ²、基本波共振形では進行形に比べ 8 倍の換算効率 400%/W が¹、MgO をドープした LiNbO₃ では波長 980 nm において効率 60%/W、最大出力 2 mW (基本波 90 mW) が² 報告された。励起 LD に高周波を重畳して変換効率向上を図る試みでは KDP 導波路から波長 429 nm/平均光出力 1.2 mW (平均変換効率 190%/W) が得られた²。また、QPM-SHG に和周波発生部を連結した LiNbO₃ 第 3 高調波発生デバイスにより波長 355 nm、出力 0.4 mW が報告された²。

一方、光源の LD に対してはスペクトル狭窄、パルス動作による時間・波長軸での光パワーの集約が SHG 高効率化に有効との結果も実証された²。以上は SHG 結晶として強誘電体を用いた報告例であるが、半導体でも基板の直接ボンディングによって非線形光学定数の周期変調構造が実現し¹、低ノイズ、広帯域、高効率、集積可能などの特長が期待されている。

THz 程度の波長変換への応用を狙った四光波混合では、両端面に無反射膜を付加してファブリレーペローモードによる帯域制限を抑えた長い共振器長をもつ四分の一波長シフト DFB レーザーを用い¹、DFB レーザー自身の発振光をポンプ光とした非縮退四光波混合が試みられ、0 dBm の入力時で 30 dB 以上の十分な信号雑音比が確保された²。S/N 比を改善する試みでは、ポンプ光とプローブ光の両方にサブピコ秒パルスを用い¹、かつ、半導体増幅器にも光パルスに同期したパルス電流を加えて高い変換効率とともに自然放出の影響を抑える報告があった²。

導波路デバイスの分野では、有機ポリマー導波路の発表件数が増加しており、損失低減も顕著で低コスト化技術として研究が活発である。ポリマー光ファイバー増幅器はコア径が大きく、可視光域で増幅特性が確認された² (572~590 nm で 26 dB, 649 nm で 18 dB)。下部クラッドにコアを直接電子線で描画するフッ素化ポリイミド光導波路は直線や円弧状シングルモード導波路が作製可能で電子線のドーズ量で屈折率差が変えられ、損失も Si 基板上で TE で 0.3 dB/cm、TM で 0.6 dB/cm と低い¹。また、レーザービーム描画でコアをパターンニングする方法では、8 インチ Si 基板上に重水素・フッ素化ポリメタクリレートを用いて 0.1 dB/cm の伝搬損失を得ている²。

近赤外領域分光分析用光源に InGaAs/InGaAsP MQW 活性層に圧縮歪みを導入して発振波長を 1.72 μm とし、HCL の分光に用いた報告²があり、主に通信用に用いられてきたこの材料の新しい応用として今後増加してくるであろう。波長領域拡大に関連して、日本ではあまり試みられていないが、量子井戸のサブバンド間遷移を利用したカントムカスケードレーザーは進展が著しく波長 4.3~5.26 μm および 7.8~11.3 μm の範囲がカバーでき、多重量子障壁 (MQB) を利用して波長 5.2 μm および 8.5 μm で室温パルス発振、140 K で CW 発振に成功しており、この波長域では光源はほとんどないため需要があり、発振機構の物理的興味の段階から実用化に近い段階にきている¹³。

このサブバンド間遷移を利用した光デバイスとして量子井戸でのバンド間共鳴光とサブバンド間共鳴光との非線形相互作用に基づく光制御素子が自由電子レーザーの変調に利用され、10 ps 以下のパルス応答³、GaAs/AlGaAs 量子井戸において 8.5~11.5 μm の広範囲の波長で実証された²。このサブバンド間遷移を利用した素子は、電子のエネルギー準位を利用しているため、有効質量の重い正孔は関与せず光検出器としても高速応答が期待でき、また、動作波長域も井戸層や材料の組み合わせで比較的容易に変えられる特徴をもつ。

光インターコネクション用のデバイスとして面発光レーザーは DBR ミラーの導入による高反射率の達成で大幅な閾値電流の低減が報告されて以来、世界的に研究が拡大したが、微小化による性能向上はここ数年頭打ちであった⁴⁻⁶。AlAs 層の選択酸化によって発振閾値電流の更なる低減が InGaAs/GaAs 系で達成され (最小値 8.7 μA、波長 0.98 μm)、これまでのボトルネックであった消費電力低減にめどが付き本来の狙いである二次元アレイ集積の可能性がにわかに高まっている。光データリンク用光源への応用を目的として 8 芯ファイバーコネクタに対応した 1×8 の一次元アレイが面発光レーザーで作製され、1 Gbit/s 疑似ランダムパターン (PRBS) 信号 = 2²³-1、バイアス電流 7 mA の条件下で 70°C での符号誤り率が 20°C での特性に比べ 2.4 dB のパワーペナルティとなった²。アライメントはチップのフリップチップ実装、サブマウントのメカニカル実装による光軸無調整とし、モジュールにはプラスチックを用いており、低コスト化の検討が進んでいる。

光インターコネクション光源としてイオン注入によって素子間分離した 8×8 面発光レーザーアレイとホットダイオードアレイを 1×8 の 50 μm GI ファイバーアレイで

butt-couplingにて接続し、 $2^{23}-1$ のPRBS信号でビットレート600 Mbit/sで評価し、有意なパワーペナルティはなく、ピクセル間でクロストークを生じていないことが報告された¹。異種基板の貼り合わせ技術が進んでいるが、これを応用してSi基板上にInP系面発光レーザーを作製し室温光励起発振が報告された²。狙いはSi-LSIのチップ間光配線であり、すでにhybrid-SEEDでSi電子回路上にGaAs変調器が集積されており⁷⁻⁹、光電子融合素子として今後の発展が期待される。

光インターコネクション用光源には低電流動作やアレイ化が容易な上記面発光型と通常の光通信やCD用に使われる端面発光型があり、後者においても250 μm 間隔12チャンネルp基板上波長1.3 μm 埋め込みヘテロ構造LDアレイが開発され、平均閾値電流1.2 mA、効率0.38~0.42 W/Aで、自動パワー制御、自動温度制御回路なしで高温(80°C)動作が可能でエラー評価も行われ実用レベルにある¹⁴。低価格化が課題となっている。

光集積に関しては、ファイバー位置合わせ溝とマイクロレンズ、半導体レーザーを集積してスーパールミネセントダイオードしたもの¹、グレーティング素子とDFBレーザーを集積した位置センサー¹、DFBレーザー・テーパー型パワー増幅器・集光グレーティングカップラーのモノリシック集積化²の報告があった。また、多電極LDに光横注入構造を導入してパルス信号光をクロック再生し、出力光の一部を帰還することにより出力パルスジッターを改善した報告があり、全光クロック再生素子として期待される²。

その他光通信とも関連するが、波長多重(WDM)の流行に伴い、波長フィルターの設計、製作に関する報告が増加している²。また、光結合に多モード干渉型3dBカップラーが有力であることが示され²、光集積回路の小型化に威力を発揮すると思われる。(協田)

8. 分 光

通信総研 渡辺昌良

1996年はEQEC(European Quantum Electronics Conference)、ICAP(International Conference on Atomic Physics)などの分光と応用に関するテーマが含まれる隔年開催の国際会議が欧州で行われた。この分野の欧州の伝統とポテンシャルの高さを背景として多数の発表がなされ、注目すべき会議である。ここでは、応用物理学会、および日本物理学会などの国内学会の年次大会の分光関連セッションの発表論文を念頭に、これら国際会議を含めてこの分野の研究動向を概観したい。ご

承知のように分光に関する研究領域は近年ますます多岐にわたっており、すべてをカバーすることは報告者の能力と紙面の制限を超えるもので、内容にかたよりがあることをお許しいただきたい。

応用物理学会の分光関連のセッションの名称が秋にはそれまでのレーザー分光・同位体分離からレーザー分光・計測となり発表件数も増加している。スペクトル計測を始めとし分光手法や応用技術また光源開発に関する報告がなされている。最新の技術や周辺分野の動向が確実に反映されており、半導体レーザーによる光源やパイオ、環境、プロセスへの応用が目につく。光と原子の相互作用や作用する力の応用に関する研究の展開も最近の世界的な動向として注目される。以下、これらについて順次述べる。

8.1 分光光源

半導体レーザーを基本とした分光光源に関する発表が相次いだ^{1,2}。技術レベルはさまざまであるが半導体光源の分光領域への浸透ぶりを示すものであり、分光応用の光源でも従来光源に代わって半導体レーザーベースの全固体光源を用いることのメリットの大きさが窺える。単一モード連続発生スペクトル制御で外部共振器を用いる方法が一般化しており、波長域700 nm台、600 nm台の素子を用いた報告があった¹。また、半導体レーザー増幅器により400 mWを発生し波長変換により200 nm台まで全固体で発生させる試みなど短波長域の固体化の動きとして注目される²。メーカーからも外部共振器型半導体レーザーや半導体レーザー励起YAGレーザーのSHGによるシングルモード高出力(5W)緑色光源などの新たな製品発表もあり分光光源が急速に変わろうとしている。また、ヨウ素分子による安定化レーザーに関する発表では、装置小型化²や半導体レーザー励起YAGレーザーのSHGによる固体化^{1,2}などの報告があった。

8.2 レーザー冷却、原子操作、周波数標準

レーザー冷却に代表される、光の力による原子の操作・制御に関する研究は多様性を膨らませながら進みつつある。特に、前年センセーションを巻き起こしたボーズ凝縮実現を受け、ボーズ凝縮に関する理論と実験で欧米を中心に多くの研究が進んでいる。He、H、Cs原子を用いた試みや実現に向けた捕獲冷却法の新たな提案がなされる一方^{24,25}、Li原子で問題となった負の散乱長をもつ媒質の挙動やポテンシャルの変化に対する応答など理論解析と議論が行われている^{24,25}。さらに、光のアナロジーから物質のコヒーレンスによる原子レーザーに向

けた理論的検討やスキームの提案があり今後が注目される²⁴。コヒーレントな原子の連続供給装置の提案などその実現を期待させる²⁵。原子波の位相変調²⁴やブラッグ変調器²⁴、特性計測、原子干渉に関する発表も多く見られ^{24,25}、物質の波動性を応用する新しい時代が始まるうとしている。物質を光で扱う原子光学への展開も期待される。国内もいくつかのグループが追試を含めポーズ凝縮実現に向けた実験を進めている^{22,23}。

光の干渉により空間の格子点に周期的に原子を捕獲する光格子に関する実験では^{23,24}、ダーク光格子²⁴など技法の改良やポテンシャル内での運動²³、周期構造を用いたフォトリックバンドギャップ²⁴に関する議論がなされている。また、原子ビームを光の定在波によるレンズで線引きを行う原子リソグラフィが従来手法の線幅限界を超える手法として開発が進められている^{24,25}。プロセス技術でマスクとして利用できるCrを用いた実験が欧米複数の機関で進められており線幅38nmがデモされた²⁴。光の力の応用技術として興味深い。また捕獲や冷却に関してパルス光を用いブルーシフトを多くすることで自然放出を減らし分子を扱える可能性をもったエバネッセント波によるミラー²⁴や狭い線幅で有効に冷却を行うために超放射を用いる方法などの提案²⁴もあった。エバネッセント波による中空ファイバーによる原子誘導^{1,2}、マイクロ波共振器による原子のフォーカス²³、原子ビームの速度分布圧縮²²などの原子操作に関する実験が国内グループで進められている。

周波数標準を目的とし、捕獲、レーザー冷却された原子やイオンの特性や精密分光に関する実験が進んでいる。Csの原子泉のマイクロ波遷移やイオントラップで捕獲されたYb, Ca, Sr, Cdなど各イオンのマイクロ波遷移や光領域遷移に関する計測が報告された^{22,23,24,25}。Cs原子泉ではラムゼイ共鳴幅1Hzが得られている²²。Cdイオンはマイクロ波標準の候補として提案されたもので基底状態超微細構造遷移スペクトルが高精度(11桁)で初めて示された²²。イオントラップによる実験は単一イオンをレーザー冷却しラムディック領域に閉じ込めてスペクトル計測を行うなど技術の高度化が進んでいる^{24,25}。また、イオンの制御計測に関わるレーザー光がすべて半導体レーザーなど固体のシステムで供給可能かどうか実用化に向けたポイントのひとつとして議論されている²⁵。さらに、ポテンシャルに捕獲されたイオンによるフォック状態、コヒーレント状態、スクイーズド状態などの検出や量子コンピューターに向けた実験などの物理的に興味ある現象の報告と議論がなされた²⁵。

8.3 分光計測

分光技術については、誘導ラマン散乱による光音響ラマン分光やレーザーアブレーションによる計測などの分光計測の手法が報告された。これらは微量ガスの検出¹や高温超伝導材料表面の計測^{2,3}な応用目的をもった技術開発である。また環境計測を目指しファイバーを用いたモジュール型の分光装置の開発も報告された^{2,3}。フォークト信号を用いた分光など分子分光に関する研究も継続的に進められている^{1,2,22,23}。一方、液体ヘリウム中の原子の分光が特徴ある研究として進められている^{22,23}。

計測対象を生体としたバイオ関連の分光計測が報告されたのも特徴で、多光子励起傾向による生体細胞内の無機イオンの分布²、超短パルスによるDNA関連分子の時間分解分光²、植物色素のLIFによる植物の診断²などがある。また、自由電子レーザーによる遺伝子導入のための細胞の穿孔¹など時代を反映している。レーザー分光に関するシンポジウムが物理学会で開催され²³、パリティー非保存など基礎物理分野での分光計測がテーマとされた。統一理論の検証が精密分光でできるなど興味深い。

以上、分光に関する研究の一部を振り返ったにすぎないが、その領域と分野は確実に広がり多様性を示しながら進展しているといえる。

9. レーザー

沖電気 上條 健

日本電気 堀田和明

9.1 半導体レーザー

1996年における半導体レーザー分野の進展について述べる。本年の半導体レーザー分野で進展の著しかったのは、1) 青緑半導体レーザーの室温動作、2) 加入者系半導体レーザーの低閾電流化、3) 高速・超短パルスレーザー、4) 面発光レーザーなどである。本項においては、これらを中心に1996年の半導体レーザーの進展を振り返ってみたい。

9.1.1 青緑レーザー

1995年の暮れに、InGaN系レーザーの電流注入パルス発振がNHKのニュースより報じられ、ナイトライド系レーザー開発の新たなページが1996年に開かれる予感を与えた。この期待に応えるように、ナイトライド系レーザーの進展は著しいものがあった。

室温電流注入発振を可能としたのは、C面サファイア基板上に成長したInGaN MQW構造を活性層とし、AlGaInクラッド層、GaInガイド層を備えたSCH構造

であり、サファイア基板が劈開できないためにドライエッチングで共振器を形成している^{d-74}。室温パルス（パルス幅 2 μ s, 周期 2 ms）注入において閾電流 610 mA（閾電流密度 8.7 kA/cm²）で、420 nm 付近で多モード発振が得られている。今後、室温連続発振への期待が高まるが、デバイス構造、電極構造などの改良による低電圧化が求められる。一方、ZnSe 系半導体レーザーにおいては、低電圧化と長寿命化の努力が続けられていた。低電圧化に対しては、コンタクト構造の改善が行われた。一般的には、ZnTe/ZnSe 超格子構造が用いられているが、それを ZnSeTe 系構造に置き換えることで、閾電圧を 3.3 V にできることが報告された^{s-4}。長寿命化については、ZnCdSe 系レーザーにおいて、1 mW APC 動作で 100 時間の連続動作が報告されている^{s-5}。青緑レーザーは、II-VI 系、ナイトライド系とも室温電流注入発振の時代になり、本格的な半導体レーザーデバイス性能追及の研究期に入った。また、本年の DVD の商用化はこの分野の研究をいっそう加速するものと予想される。

9.1.2 加入者系レーザー

通信分野における半導体レーザーの関心は、加入者系半導体レーザーの開発にある。1995 年においては、ファイバーとの結合効率の向上を目指したモード変換レーザーの開発がさかんであった。1996 年もその傾向は引き継がれており、テーパ導波路の作製方法や高温動作実証^{r-10}が報告されているが、より活発化したのは低閾電流化であったといえる。低閾化の特長は、従来のデバイス構造の改良（主として漏れ電流の抑制）から、材料系の改良に移ってきたことである。これは、より単純化した量産性の高いデバイス構造を求められはじめたことと関係していると思われる。

特に進展が認められる材料系としては、GaInNAs/GaAs 系構造、InGaAs 3 元基板上構造である。GaInNAs/GaAs 系構造は伝導帯、価電子帯のバンドオフセットの MQW 構造が実現できることから高温動作可能な低閾電流動作が期待されている。半導体レーザーの室温連続動作が確認され^{s-24}、半導体レーザーデバイス研究が本格的になりはじめたと考えられる。この材料系は、ナイトライドレーザーの結晶成長技術・材料技術が研究を加速しており、今後の進展が注目される材料系といえる。一方、InGaAs 3 元基板上レーザーは、従来の III-V 系材料の格子整合条件の制限を超えて可能となる材料設計を可能とする。InGaAs/InGaAsAs/InGaP 構造において、1.2 μ m の室温連続発振が得られてい

る^{c-1}。両者とも、今後は実用となる 1.3 μ m 動作の実証が期待される。加えて、関係プロセス技術の進展がこれら材料系の実用化を推し進めると考えられる。

将来を見据えた材料系としては、量子ドット構造の研究が継続しているが、全体としてはデバイス研究の域に入っていない状態であり、上記の研究への期待が高いが、初めて量子ドット構造活性層のレーザー^{s-21}の室温発振が観測されたことは特筆できる。

9.1.3 基幹伝送レーザー

次世代の大容量 TDM 伝送に向けた高速変調レーザーの研究は、40 Gbps システムに向けた研究が著しい。大きな流れは、DFB レーザーと外部光変調器の集積デバイスである。EA 変調器集積化 DFB レーザーによる 40 Gbps NRZ 伝送が実証された²⁰。また、WDM 伝送の要求に向けて、DFB レーザーのグレーティング作製プロセスの開発がさかんである。例えば、EB 描画技術においてコンピューター制御により簡便に周期を任意に制御できる手法が提案され、26 波長の DFB レーザーの集積化を可能とした¹⁹。この手法は、多波長 DFB レーザー集積の低コスト化に有効と期待される。

9.1.4 超短パルスレーザー

半導体レーザーにおける超短パルス発生は、将来のテラビット通信に向けての研究が続けられている。特に、集積化モードロックレーザーの開発がさかんになりつつあり、低ジッター化、動作の安定化などが追及されている。例えば、サブハーモニック光パルス注入同期法が提案され、低ジッター動作に有効であることが実験的に確かめられている^{r-5,r-2}。一方、EA 変調器を集積化した chirped grating を有する DBR レーザーにおいて、アクティブモードロックで、6 ps 以下のパルス幅の光パルス列を 19 GHz 程度で発生することに成功した²⁶。半導体レーザーにおける超短パルス発生は、1996 年よりフェムト秒プロジェクト（FESTA）がスタートしたことにより、ますます研究が加速する分野といえる。

9.1.5 面発光レーザー

面発光レーザーは、光インターコネクション用並列ファイバーモジュールへの展開が進むなか、アレイ光源モジュールの開発が顕著になってきた。例えば、二次元面発光レーザーアレイを用いて、トータルスループット 16 Gbps のデータ転送を行った報告がある^{s-21}。さらに、裏面のガイド穴を有する 4×3 アレイに対してパッシブアライメントで 81.3% のファイバー結合効率を得られている²⁷。また、素子性能向上のアプローチとしては、昨年来の選択酸化プロセスに加え、異種材料基板の直接

接合技術がさかんに導入されるようになってきた。例えば、GaAs/AlAs多層膜ミラーをInGaAsP/InP構造に直接接合し、1.55 μm で室温連続発振を得たこと²、Si基板上で1.58 μm 室温光励起発振がAl 203/a-SiミラーをInGaAs/InGaAsP/InP構造に直接接合したデバイス構造で観測したこと¹⁻¹¹など、従来短波長系面発光レーザーに比べて性能改善が遅れていた長波長系面発光レーザーにおいて、ミラー材料の選択の自由度の向上がこのプロセスで与えられたことによる進展が見えてきた。

また、自己形成量子ドット構造を活性層とする素子で室温連続発振が得られたこと¹⁻²¹やGaInNAs系面発光レーザーの設計²など将来に向けた研究もさかんであった。

9.1.6 ま と め

最近の半導体レーザーの開発は、光加入者システム、DVDなど応用分野と市場が明確なものに集中される傾向が強くなっている。特に、低消費電力化、低コスト化に重点を置いた研究が目立った一年であった。1997年もその傾向は引き続きと予測される。(上條)

9.2 気体・固体レーザー

最近のこの分野での特記すべきことは、LD励起固体レーザーの目を見張る展開である。LD励起固体レーザーは、全固体化レーザーとして、固体レーザーに革新をもたらそうとしており、“真空管からトランジスターへの変革”に対応するともいわれている。小型・高輝度レーザーとしての加工応用への導入による高品位微細加工の実現、新固体レーザー材料、特に波長可変レーザー材料の発振などの直接的な効果に加え、将来のモノサイクル超短パルスの発生、小型X線レーザーの実現などへの波及効果が期待できる。

気体レーザーでは、1 GbitのLSIメモリー(DRAM)の露光用光源として本命視されるArFエキシマレーザーの開発動向が見逃せない。すでに、256 Mbit LSIメモリーの露光用光源としてKrFエキシマレーザーの開発が完了しつつある。1 Gbit LSIメモリーの実現は、21世紀の情報化社会の実現に大きく貢献すると思われる。レーザーがこのようなインパクトの大きい応用に用いられることは、われわれレーザーの開発に携わるものとしては、大きな喜びとするところである。

その他、応用・実用化に向けて、気体レーザー、固体レーザーは着実に進歩している。

9.2.1 気体レーザー

LSIメモリーの微細化(高密度化)に伴い、露光(リソグラフィ)用光源として、より短波長の光源が必要

になる。線幅(デザインルール)が0.35 μm 程度の64 Mbitの露光用光源までは、水銀ランプ(波長365 nmのi線)が用いられてきたが、線幅0.25 μm 程度の256 Mbitには発振波長248 nmのKrFエキシマレーザーが採用される。製品化されている露光用KrFエキシマレーザーの性能の一例を表2に示す²⁸。この波長域で最も長寿命な光学系の硝材は石英であるから、KrFエキシマレーザー露光光学系は石英のみで構成される単色光学系である。そこで、色収差をなくすため、露光用KrFエキシマレーザーの発振スペクトル幅はフリーランニングの場合の300~0.8 pm以下に狭帯域化されている。1998年頃の256 Mbitの量産に向け、LSIの製造現場に導入可能な、表2のような、高信頼露光用KrFエキシマレーザーが開発されている。これまでの気体レーザーのなかで最高の部類の信頼性をもつレーザーと評価しても過言ではないであろう。256 Mbitの次には、線幅0.18 μm 程度の1 Gbitの量産が2001年頃に計画される。この1 Gbitの露光用光源として本命視されているのが発振波長193 nmのArFエキシマレーザーである²⁹。表2には、露光用KrFエキシマレーザーの性能と比較して、開発されている露光用ArFエキシマレーザーの性能の一例を示している²⁸。ArFエキシマレーザー露光機の光学系の構成が、石英のみの単色光学系か、石英とCaF₂から構成される色消し光学系かは、今後の硝材(特にCaF₂)の長寿命化にまたなければならない。しかし、前者の単色光学系の場合は、波長193 nmが石英の吸収端に近く、屈折率の波長分散が大きいので、ArFエキシマレーザーを0.3 pm以下に狭帯域化する必要がある。後者の場合は、1~5 pmの狭帯域化でよい。ArFエキシマレーザーはKrFエキシマレーザーに比べて発振効率が低く、ガス寿命が短いので、ArFエキシマレーザー側から見ると、後者の色消し露光光学系が望まれる。現在、露光用ArFエキシマレーザーの開発が急ピッチである。

ArFエキシマレーザーは角膜屈折矯正(PRK法: photorefractive keratectomy)用のレーザーとしても

表2 露光用KrFレーザー(実用段階)とArFレーザー(開発中)。

		露光用KrFレーザー	露光用ArFレーザー
中心波長	nm	248.385	193
スペクトル幅	pm	<0.8±0.1	<10
パルスエネルギー	mJ	12.5	3.5
繰返し	Hz	600	400
ガス寿命	Shots	10 ⁹	5×10 ⁶
レーザー管寿命	Shots	2.5×10 ⁹	10 ⁹

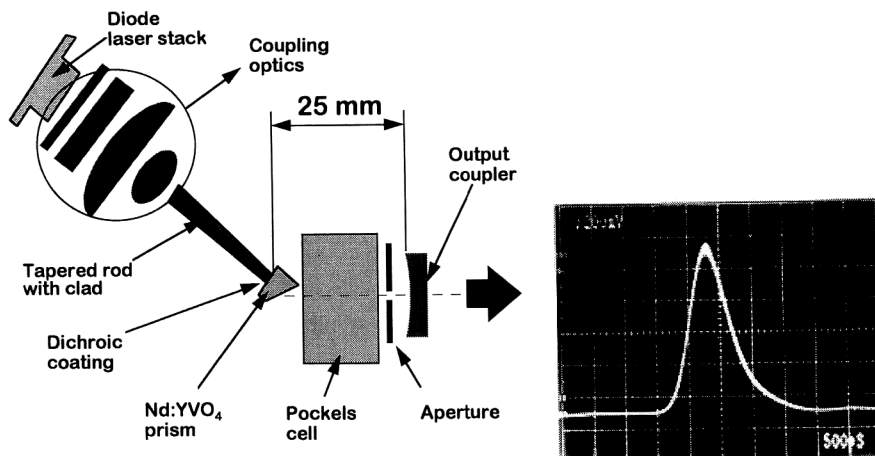


図3 パルスLD励起QスイッチYVO₄レーザー。

注目されている⁴。PRK法とは、ArFエキシマレーザーを角膜に照射して、蒸散させる（削り取る）ことにより、近視を矯正する角膜形成法である。

気体レーザーで他に注目すべきことは、①ウランの同位体分離用光源としての銅蒸気レーザーでは、大口径化により、500~600 Wの高出力化と1.5%程度の高効率化が実現し、次の長寿命化、低コスト化の開発に進んでいること²⁸、②RF励起スラブCO₂レーザーの開発が進み、kW級の小型加工用レーザーとして期待されていること¹、などである。

9.2.2 固体レーザー

LD励起固体レーザー^{v-24-3}の優れた特長は次の通りである。①高効率で、小型化・軽量化が容易。②高輝度である（低次モード）。③LDの出力がランプに比べ安定で、レーザー出力が安定。④LDの寿命がランプに比べ長く、レーザーの保守が容易で、高信頼。⑤固体レーザー媒質の吸収波長に合った発振波長のLDの実現が可能で、ランプ励起では発振困難な新しい固体レーザーの発振が可能。⑥マイクロチップ、ファイバー、導波路などさまざまな形状のレーザー媒質を励起できる。試みに、平成8年度秋の応用物理学会の講演予稿集²を見ると、各種レーザーの分野においてはLD励起固体レーザー関連の発表がいちばん多く、上記の特長を追究した、さまざまな研究開発が華やかに展開されていることがわかる。また、実用化の点では、レーザー加工へのLD励起固体レーザーの導入が、徐々にではあるが、確実に拡大している。これは、LD励起固体レーザーが①~④の特長、特に後述する高輝度化の特長をもつからである。LD励起固体レーザーの一例として、筆者らが開

発したパルスLD励起QスイッチYVO₄レーザー^{1,30}を紹介する。図3に示すように、LD励起とレーザー媒質にYVO₄を採用することにより、短い共振器長と高レーザー利得を実現し、写真のサブナノ秒のパルス幅を安定に得ている。パルス幅0.7 nsのとき、レーザー出力はTEM₀₀モードで約0.8 mJである。このレーザーを使った、0.7 μmの最小ライン加工幅の256 Mbit LSI対応高精度高分解能マスクリペア（修正機）が市販されている。LD励起固体レーザーの高出力化においては、国内では、CW出力150 W (M²≒30、効率(=レーザー出力/LD高出力):39%)が実現している。さらに、共振器の工夫によりビームの高品位化が図られ、M²<5で100 Wクラスの出力を得ている²。M²については後述する。海外では、CWマルチモード出力750 W (スローブ効率:40%)が発表されている³¹。また、波長532 nm (通倍波)で5 Wの単一縦・横モードLD励起固体レーザーが市販されている。後述の波長可変固体レーザーの励起用などとして、このようなLD励起固体レーザーが普及していくと考えられる。

波長可変固体レーザー^{v-23-10}の研究開発も、例として前出の応用物理学会の予稿集²を見ることにより、活発であることがわかる。なかでも、波長可変領域680~1,100 nmのTi³⁺:サファイアレーザーに関する発表が最も多い。波長可変領域780~1,010 nmのCr³⁺:LiSrAlF₆レーザーの発表も少なくない。また、1,130~1,360 nmのCr⁴⁺:Mg₂SiO₄レーザーの発表も見られる。これらの波長可変固体レーザー光を通倍光などに波長変換することにより、波長可変領域を広げる研究開発も目立つ。前記のLD励起による全固体化の追究

も活発である。波長可変レーザーの研究の展開において、重要なのは超短パルスの発生である。まず、超短パルス化によるマルチ・テラワットの高ピーク出力化とそれを用いた軟X線、XUVレーザーの発生やX線域の高次高調波発生を注目すべきであろう²。また、高ピーク出力Ti³⁺：サファイアレーザーによる、多光子吸収を利用したアブレーション加工応用は見逃せない。さらに、よりいっそうの超短パルス化は興味深い。現在、4.5 fsまでのパルスが発生しているが、モノ・サイクルのパルス発生の検討が始まっている²。市販品の波長可変固体(Ti³⁺：サファイア)レーザーも目につく。音響光学波長選択フィルターを導入して波長選択を電子制御にし、使い勝手をよくしたもの、再生増幅器とパラメトリック増幅器を組み合わせ、パルス幅200 fs位、出力10~20 nJで可視光(480 nm)から赤外光(2.3 μm)までの共振波域をカバーするものなどがある。

固体レーザーの最近の展開を検討するとき、レーザー加工応用での高輝度化の動きも取り上げるべきであろう。レーザー加工においては、波長が短く、輝度が高い(ビーム品位がよい)レーザーほど集光性がよく、微細な加工に用いられる。レーザー光のモードの高次の度合を表すパラメーターにM²がある。輝度は(M²)⁻²に比例するので、輝度を検討するとき、M²がよく使われる。ビーム品位が最もよい単一TEM₀₀モードのレーザー光のM²は1である。波長λでM²のレーザー光は、等価的に波長がM²・λのレーザー光と考えてよいから、輝度の低い(M²の大きな)レーザー光の集光性が悪いことが理解される。周知のように、レーザー加工には主として波長10.6 μmのCO₂レーザーと波長1.06 μmのYAGレーザーが使われる。波長が短いYAGレーザーのほうが微細加工に適すると思われるが、従来のランプ励起固体レーザーでは、レーザーロッドに加わる熱負荷のため、低次モードで高出力(大体50 W以上)を得るのが難しく、M²は大きく、必ずしもCO₂レーザーに比べ波長が短いことが生かされていなかった。以上のような観点から、YAGレーザーの高輝度化の研究開発がさかんである。上記のLD励起の採用のほか、スラブYAGレーザーの開発²⁸や共振器の工夫²⁸などがそれである。高輝度YAGレーザーの市販化も相次いでいる。

9.2.2 おわりに

気体レーザー、固体レーザーにおける注目すべき動きを見てきた。他にも重要な進展が多々あると思われるが、紙面の関係でその紹介はご容赦願いたい。

今後の超短パルス発生を含めたLD励起固体レーザー

の展開については、エネルギー応用、情報応用の両面で、期待は大きい。いろいろな点での“質”の高いレーザーが実現し、インパクトの大きな応用が広がっていくと思われる。

本報告をまとめるにあたり、東北大学の伊藤教授、電総研の鳥塚氏、三菱電機の辰巳氏、吉澤氏、東芝の野田氏、丸文の植田氏、そして、NECの鷲尾氏、相崎氏にご教示いただいた。深謝いたします。(堀田)

10. 視覚光学

工技院生命研 氏家弘裕

視覚は脳機能の一部である。脳機能に関する研究は、近年、MEG、PET、fMRI等の計測技術の進歩により人間の生体脳の活動部位の特定が可能になったことで、ますますさかんになってきている。その脳機能研究でもっとも進んでいるのが視覚である。日本視覚学会および日本光学会視覚研究グループ共催の1996年冬期研究会では「脳のイメージング」³²についてのシンポジウムが開かれ、視覚光学における脳機能計測の可能性が注目された。またその具体的な成果も、運動視について大脳視覚野の活動の視覚的注意による影響が測定されたり³³、同名半盲の症例における視覚野の活動が解析される³³など、着実な進展をみせている。さらに、国外では視覚的認知と言語処理との共通領域の発見^{W-382,383}など、他の機能との処理の関連性についても明らかになりつつある。今後、脳機能計測の技術は、心理物理学的手法や計算論的手法と関連づけられることで、視覚情報処理機構をより詳細に明らかにしていくことであろう。

以下では、視覚光学のそれぞれの分野での1996年の進展について述べてみたい。

10.1 色 覚

近年、色覚に関する研究は、物体色・光源色モード、複雑な色彩環境の影響、カテゴリカル色知覚等に関するものなど、より複雑な環境下や高次なメカニズムに関わるものが占めており、1996年もその傾向を引き継いでいる。そのなかでも、複雑な色彩環境に関するものでは、周辺の色によって囲まれた色の見えが解析されその定量化を試みられたり¹、複数の色が存在する場合の明るさ知覚が研究され単純な視野での結果は適用できないことが指摘されたり³⁴、さらには複雑な色彩環境として実際の風景写真を用い類似色の多いほど色ターゲット検出に時間を要することなどが指摘される³⁴などした。その他にも、色の両モードに適用可能な有彩色の明るさの予測式が提案されたり³⁴、透過色知覚と色恒常性とのメ

カニズムの共通性や色恒常性のもとでの色順応と空間対比の寄与³、さらに周辺視でのカテゴリカル色知覚^{2,5}等が考察された。

また、その他特徴的なことは、色情報の処理を記憶^{f-10}や視覚的探索という点から解析を試みようとしたもの^{32,x-18}もみられたことで、今後、認知心理学的手法によって色のメカニズムの解明を試みるものが増えていくと思われる。

10.2 運動視

運動知覚に関しては、一次機構と二次機構による分類が行われたあたりから、生理学的データの蓄積も相まって、メカニズムに関する研究が急速に進展してきている。そして基本的な運動知覚のメカニズムに加えて、時間的足し合わせに関する研究、また二次元格子パターン等を用いた空間的な足し合わせや透明面の運動知覚に関わる空間的分解という相反する処理などの解明も試みられている。このような流れは1996年も変わらず、さかんに研究が行われた。例えば、運動順応によるコントラスト閾上昇から一次、二次とも複数の空間周波数チャンネルによる処理が示唆されたり³²、相対運動と単純運動とがコントラスト特性や空間周波数特性によって異なるメカニズムでの処理が示唆される¹などした。また、運動の空間統合におけるコントラストの効果³²や、正弦波と複合波の仮現運動による反転知覚³³、運動の逆慣性現象³³などが運動知覚メカニズムの観点から検討された。

その一方で注目されるのは、色メカニズムの運動処理に関する研究と、運動知覚の高次性に関する研究である。色と輝度とは別の経路によって処理され、運動知覚に相対的に遅い処理の色情報が関わっているかどうか議論されてきたが、極短時間の色パターンの運動方向の判断が可能なことや輝度パターンによるマスクが色パターンの運動知覚には影響しないことから、色メカニズムも運動処理を行っていることが示された^{w-379}。また運動知覚は、大脳視覚野の初期の段階から処理が開始されていることもあって、低次の処理を反映したものとも考えられていたが、視覚的注意によってそれらの処理が変化することが示され、高次の過程の影響を強く受けることが示された^{33,w-382}。これらは、今後、運動知覚メカニズムを考えるうえで重要なポイントになるであろう。

10.3 奥行き知覚

奥行き知覚に関する研究は、両眼立体視に関するものが主流であったが、その他の奥行き手がかりに関するデータも着実に蓄積されている。両眼立体視に関しては、最近垂直視差の立体視への寄与が明らかとなり、その空

間特性や回旋眼球運動との関係^{3,32}が報告された。また、陰影による奥行き知覚の空間周波数特性¹や影による奥行きおよび奥行き運動³³、さらに運動視差による奥行きの時間的統合過程¹などが明らかにされた。その一方で、奥行きの距離によるスケージングが、輻輳情報²⁻²や頭部運動による絶対距離情報³²、遮蔽などの相対距離情報³³を用いて検討された。奥行き量のスケージングにはこの他に上述の垂直視差も関与することが示唆されているため、今後複数の要因の統一的理解が必要である。

また、複数の奥行き手がかりから最終的な奥行き知覚が求められる過程に関する研究も行われてきている。両眼視差と運動視差との間である程度線形的な足し合わせが行われること^{v-2}や、前後方向の頭部運動による奥行きと運動視差との非線形的足し合わせ³²が報告され、また相対的大きさと運動視差³²、影と運動視差などの奥行き手がかり間の関係³³についても検討された。奥行き手がかり間の相互作用を明らかにすることは、視空間形成過程を明らかにすることであり、今後の進展が期待される。

10.4 その他

視覚光学の研究の進展に伴い、視覚の高次機能の問題が避けて通れないものになってきている。そのなかでも、視覚的注意については、先の運動視の例にもみられるように、最終的な知覚を考えるうえで視覚の基礎的過程（色覚、明るさ知覚、運動視、奥行き知覚など）のすべてに関わる問題である。実際に、サッカー前後の視標の定位と注意との関係²⁻⁴や視覚的注意と色・輝度チャンネルとの関わり³³等が検討されたことなどもその現れであると思われる。

10.5 まとめ

近年の視覚研究の高まりは、脳機能としての注目もさることながら、心理物理的手法における刺激提示装置等の実験環境の充実によるといえる。今やパソコンといえども一昔前のワークステーション並みの機能をもち、空間的にも時間的にも非常に複雑な刺激を提示することが可能で、研究の可能性はますます広がっている。さらに、心理物理データだけでなく、これまで明らかにされてきた生理学的データ、今後集積されていくであろう上述の脳機能計測のデータとの関連づけにより、「見る」ということの本質的な理解が望まれている。このような流れのなかで、「視覚光学」の分野が今後いっそう発展していくことを期待したい。

11. 光源・測光・照明

松下電工 岩井 彌

11.1 光 源

この1年間では、コンパクト化の実現でさまざまな用途に使われるようになってきたメタルハライドランプ、コンパクト型蛍光ランプ、細管冷陰極蛍光ランプのさらなる性能向上につながる研究報告が数多く報告された。光源のコンパクト化は用途拡大につながるだけでなく、省資源にもつながる技術であるため、今後ますます進展が期待される技術である。メタルハライドランプに関しては、自動車前照灯にも使われるようになってきたことから、点滅繰り返しに耐えられる技術や長寿命技術等の開発につながる研究報告³⁵が見られた。コンパクト型蛍光ランプにおいては、コンパクト化を実現した発光管形状に関する報告³⁵が多かった。

また、長寿命が特徴の無電極蛍光ランプと無電極HIDランプに関する研究報告は、高効率化の検討をした報告等³⁵、引き続き見られた。

11.2 測 光

CCDを搭載したカメラを用いて、対象とする視野内の輝度分布を測定した報告がこの1年も目立っていた。測定対象としては、トンネル内の輝度分布³⁵や、屋内から観察される窓面の輝度分布³⁸等があった。また、CCDによる測定において困難な不快グレア指数の計測を照度計による測定データを併用することで可能とした報告³⁵等、CCDによる測定の問題点を克服する手法も徐々に開発されてきている。高性能なデジタルスチールカメラの台頭に見られるように、CCD技術や画像処理システムの性能の向上はめざましいものがある。従来の測定効率のよさに加え、測定レンジが広く、高精度な輝度分布計測システムが今後開発されてくるだろう。

また、分光測光器の性能の光源色測定に与える影響を定量的に示した報告³⁶や、ポリクロメーターの分光測光器としての性能を調査、検討した報告³⁵等、照明に関係した分光測定に関する報告もいくつか見られた。

11.3 照 明

まず、照明の影響を強く受ける視対象の見え方に関連した研究から述べてみたい。視対象を知覚できるかどうかの理論的検討をするうえで輝度差弁別閾を求めることが重要となってくるが、種々の中心窩順応輝度と光幕輝度とが組み合わさった視野に対する輝度差弁別閾は、その視野での中心窩順応輝度によって決まる輝度差弁別閾と光幕輝度によって決まる輝度差弁別閾とを加算したも

のとほぼ一致するという加法則が成り立つことが実験的に明らかにされた^{A-8A}。この報告により、中心窩順応輝度と等価光幕輝度とから不均一な視野における輝度差弁別閾を算出できることが明らかになったため、より現実的な不均一な視野に対する視認性の理論的な検討が今後進展していくと思われる。

より現実的な視対象の見え方の心理評価尺度である“見えやすさ”に関する研究報告としては、読書時の文字の読みやすさと視力の関係を調査した報告³⁵や、講義室等におけるOHPの映像の見えやすさと、視角と視角閾値との関係を示した報告³⁵等があった。これら実験により得られた心理評価値は、前述の輝度差弁別閾等の閾値との関係を明らかにすることで、他の条件における視対象の見え方の評価へと展開することができる。同様の考えを適用した研究として、輝度差弁別閾と種々の色の交通表示灯の最適輝度との関係を均一視野に対して求めた結果をもとに、さまざまな不均一な視野に対して最適輝度を求める手法を提案した報告があった³⁵。

グレアに関してはCIE屋外不快グレア評価指標の屋内スポーツ照明への適用を検討した報告³⁵等、従来の不快グレア式の応用展開を検討した報告が目立った。一方で、今まであまり検討されていなかった閃光の不快グレアに対し、閃光の周波数と呈示位置の影響を明らかにした報告もあった^{A-2}。

部屋空間全体に対して感じる明るさ（明るさ感）や雾困気等の心理評価量と照明条件との関係の明確化を目的とした研究報告は、主として建築学会大会³⁸で数多く報告されていた。空間での行為別に分けて検討する最近の特徴はこの1年でも見られたが、いまだ普遍的な解は明らかにされていない。また今年も、「明るさ感」という言葉がさまざまな研究のなかでさまざまな定義で用いられていた。明確には定義されていないこの「明るさ感」という用語に関しては、各研究者が考えている概念、定義を一度整理、検討する必要があると感じる。さらに、上記研究に関連したものとして、照明認識視空間という新しい概念で照明を検討した報告³⁵もあった。

交通照明の分野においては、車線軸均斉度が器具設置間隔と自動車の走行速度の影響を受けることを明らかにした報告³⁵や、140 km/h対応トンネルの緩和照明曲線を提案した報告³⁵等、設計速度140 km/hの道路に対応した照明に代表される新しい交通照明の所要条件を検討した報告が目立っていた。

さまざまな照明条件下で観察される視環境の見えを知る研究としては、さまざまな照度レベルに対し、コント

ラスト感度の空間周波数特性²や、無彩色色票の主観的明度³⁵を測定した報告や、種々の照度レベルに対して、周辺視により観察される表面色の色の見えを調査した報告³⁵、照明光の違いによる肌色の見えの変化を3種類の色順応モデルを用いて予測した報告²等があった。また、画像の平均の色を灰色とする灰色仮説が成立すると照明光の光色の推定が可能であるという報告³⁶⁻³⁰⁷や、非白色の照明光に対して完全には色順応しない視覚特性に注目して、照明光の色度を推定するアルゴリズムを提案した報告²等、照明光の光色を推定する手法を検討した報告もみられた。

生理指標を用いて照明を評価する研究では、ラムダ反応という生理指標を用いて、作業者がオフィスにおいて作業に集中できる照明条件を明らかにした報告³⁵等、いくつか見られたものの、この1年間における報告の数は少なかったと感じる。生理指標を採用することで、心理評価では得られにくい評価ができる可能性がある。この分野のさらなる発展を期待したい。

最後に、国連の定義するところの高齢社会に突入したわが国において重要な研究である高齢者関連研究に関してであるが、眼を暗順応させた直後、種々の照度レベルにさらされたときの不快感を若年者と高齢者に対し調査した報告³⁵等、この1年にも高齢者関連の研究報告はいくつかみられた。高齢者との共生を目指した照明を考えていくためには、加齢の影響を調査した研究¹⁻²や、高齢者が関わる照明空間に対する実態調査³⁵の研究報告が必要だと感じるが、いまだその数は少ない。高齢社会対応の技術開発が急務となっていることから、これらの研究を含めた高齢者関連の研究報告が今後ますます増えていくことを期待したい。

以上、光源・測光・照明に関して、特筆するに至る新しい研究報告はこの1年見られなかったものの、少しずつではあるが関連技術が着実に進展していることを感じた1年であった。

12. 光学関連の規格

(財)光産業技術振興協会 増田岳夫

光学の国際標準は、主としてISO(国際標準化機構)規格として流布しているが、審議にあたるのはISO/TC 172(Optics and optical instruments)である。同committeeは9つのsub-committee(SC)から構成されていたが、1995年に各SCの再構築が提案され、旧SC 7(Ophthalmic, endoscopic, metrological instruments and test methods)、および、旧SC 8(Ophthal-

mic optics)を統合、新SC 7(Ophthalmic optics and instruments)とすること、またSC 9(Electrooptical systems)を分割し新SC 9のScopeをLasers, working group(WG) 7(Electrooptical systems other than lasers)をSC 10(Electrooptical systems)とする案が同年6月のsteering committee meeting(STC)で審議された。その結果、前者については承認されたが、後者についてはWG 7事務局を引き受ける日本の時期尚早との意見が賛同を得て否決された。STCの結果はTC 172総会で承認され、図4に示す新体制が、事実上1996年よりスタートした。

他方、IEC(国際電気標準会議)にあっても光学関連分野の規格作成は行われており、TC 76が従来のscope(Laser equipment)を(Optical radiation safety and laser equipment)と変え、主としてレーザー等の安全性規格を中心に、またTC 47/SC 47 CではLDおよびLEDについて、TC 86では光通信について、それぞれ審議されているが、SC 47/Cから通信関連の規格についてはTC 86/WG 7として移行することがすでに決定しており、1997年中に新体制でスタートすることとなっている。また、TC 100/SC 100 Cでは赤外伝送について審議されている。

また、国内規格においては、一連のJISが(財)光産業技術振興協会内の各分野別標準化委員会で原案作成され、上記、ISO、IEC両分野でのオプトエレクトロニクスの標準化をカバーしている(表3参照)。

1996年の私見によるこの分野でのトピックスを以下に示す。

12.1 JISの国際整合化

通商産業省工業技術院では1995年度より3カ年計画ですべてのJISと国際規格との整合化を推進している。整合性を云々するのであれば、基本規格の見直しから段階的に進めるべきであり、体系の見直し、国際規格の改正等、政策的ストーリー作りから始めることが肝要であり、3年間といういわば小手先の作業のできる仕事ではない。

表3に示すオプトエレクトロニクス規格にあつては、常にIEC等との整合性を考慮、また規格作成段階から各分野で国際規格への提案を行っており、基本的に整合性はとれているとの解釈から、この政策に該当しないとの方針で対処したが、それでも各委員会で既存規格を検討の結果、光ファイバー増幅器等を含め30件以上の規格が新規制定又は改正原案として完成された。

ISO/TC 172 Optics and optical instruments
 Chairman: Mr. S. Braginsky/USA
 Secretary: Dr. K. Gindele/DIN

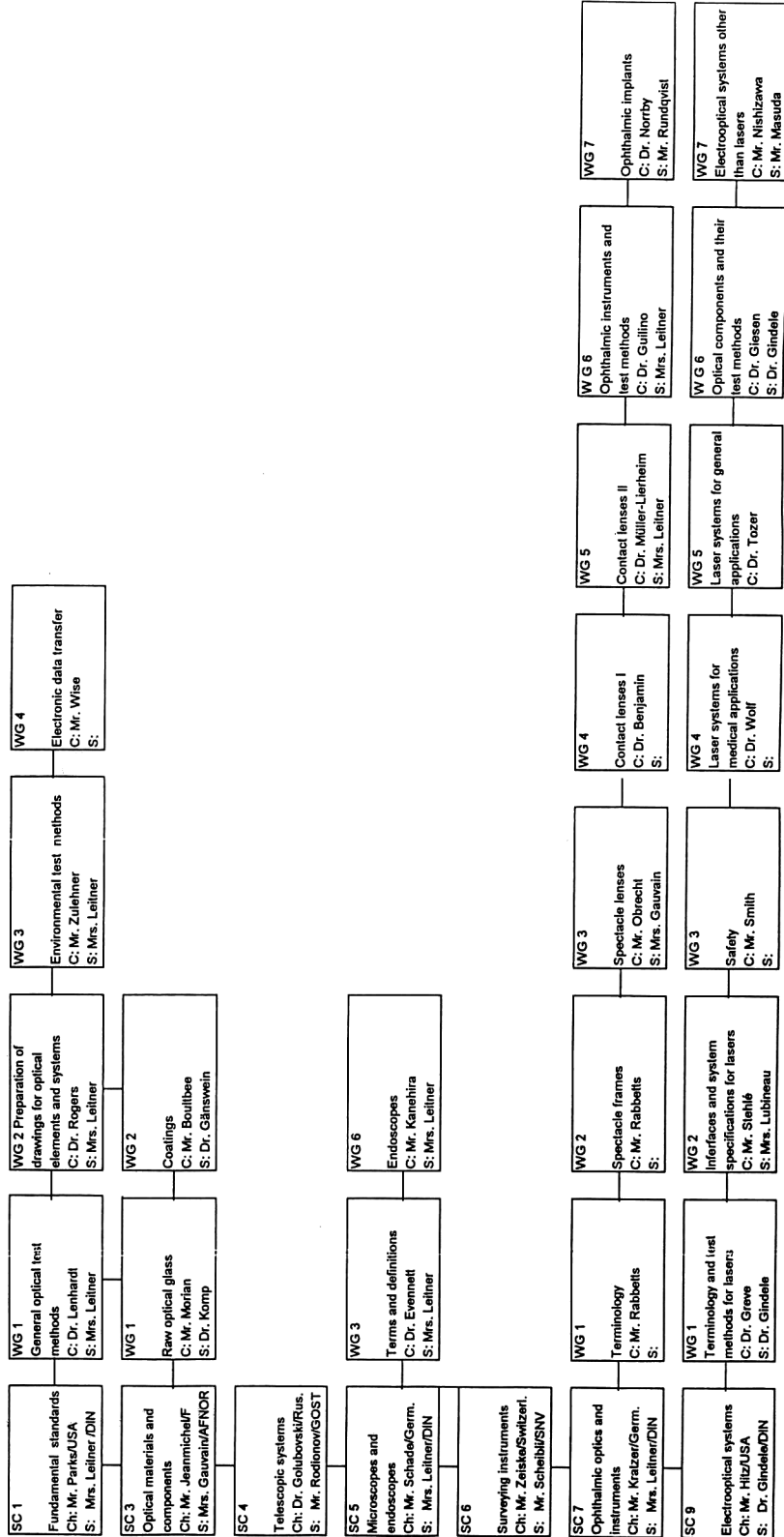


図 4 ISO/TC 172 の新体制。

表3 オプトエレクトロニクス日本工業規格 (JIS) リスト。

(1997年1月26日現在)

委員会	規格名称	番号	制定改正日
光ファイバ	1 光ファイバ通則	JIS C 6820	改 1991.09.01
	2 光ファイバ機械特性試験方法	JIS C 6821	改 1991.09.01
	3 マルチモード光ファイバ構造パラメータ試験方法	JIS C 6822	改 1995.01.01
	4 マルチモード光ファイバ損失試験方法	JIS C 6823	1989.01.01
	5 マルチモード光ファイバ帯域試験方法	JIS C 6824	1989.01.01
	6 シングルモード光ファイバ構造パラメータ試験方法	JIS C 6825	改 1995.01.01
	7 シングルモード光ファイバ損失試験方法	JIS C 6826	1989.01.01
	8 シングルモード光ファイバ波長分散試験方法	JIS C 6827	改 1995.01.01
	9 光ファイバコード	JIS C 6830	改 1991.09.01
	10 光ファイバ心線	JIS C 6831	改 1991.09.01
	11 石英系マルチモード光ファイバ素線	JIS C 6832	改 1995.01.01
	12 多成分系マルチモード光ファイバ素線	JIS C 6833	1989.03.01
	13 プラスチッククラッドマルチモード光ファイバ素線	JIS C 6834	改 1993.10.01
	14 石英系シングルモード光ファイバ素線	JIS C 6835	改 1991.09.01
	15 全プラスチックマルチモード光ファイバコード	JIS C 6836	1992.09.01
	16 全プラスチックマルチモード光ファイバ素線	JIS C 6837	1992.09.01
	17 光ファイバ心線融着接続方法	JIS C 6841	改 1993.10.01
	18 全プラスチックマルチモード光ファイバ機械特性試験方法	JIS C 6861	1991.09.01
	19 全プラスチックマルチモード光ファイバ構造パラメータ試験方法	JIS C 6862	1991.09.01
	20 全プラスチックマルチモード光ファイバ損失試験方法	JIS C 6863	1990.06.01
	21 テープ形光ファイバ心線	JIS C 6838	1993.10.01
	22 テープ形光ファイバコード	JIS C 6839	1993.10.01
光コネクタ	1 光ファイバコネクタ通則	JIS C 5962	改 1993.10.01
	2 光ファイバコネクタ試験方法	JIS C 5961	改 1993.10.01
	3 F 01 形単心光ファイバコネクタ	JIS C 5970	改 1993.10.01
	4 F 02 形単心光ファイバコネクタ	JIS C 5971	改 1993.10.01
	5 F 03 形単心光ファイバコネクタ	JIS C 5972	改 1993.10.01
	6 F 04 形単心光ファイバコネクタ	JIS C 5973	改 1993.10.01
	7 F 05 形単心光ファイバコネクタ	JIS C 5974	改 1993.10.01
	8 F 06 形単心光ファイバコネクタ	JIS C 5975	改 1993.10.01
	9 F 07 形 2 心光ファイバコネクタ	JIS C 5976	改 1993.10.01
	10 F 08 形 2 心光ファイバコネクタ	JIS C 5977	改 1993.10.01
	11 F 09 形単心光ファイバコネクタ	JIS C 5978	改 1993.10.01
	12 F 10 形単心光ファイバコネクタ	JIS C 5979	改 1993.10.01
	13 F 11 形光ファイバコネクタ	JIS C 5980	1993.10.01
	14 F 12 形多心光ファイバコネクタ	JIS C 5981	1993.10.01
光能動部品	1 光伝送用発光ダイオード通則	JIS C 5950	1989.05.01
	2 光伝送用発光ダイオード試験方法	JIS C 5951	1989.05.01
	3 光伝送用フォトダイオード通則	JIS C 5990	1988.04.01
	4 光伝送用フォトダイオード試験方法	JIS C 5991	1988.04.01
	5 光伝送用半導体レーザ通則	JIS C 5940	1989.03.01
	6 光伝送用半導体レーザ試験方法	JIS C 5941	1989.03.01
	7 再生・記録用半導体レーザ通則	JIS C 5942	1990.01.01
	8 再生・記録用半導体レーザ試験方法	JIS C 5943	1990.01.01
	9 低速光伝送リンク用送・受信モジュール通則	JIS C 6110	1990.11.01
	10 低速光伝送リンク用送・受信モジュール試験方法	JIS C 6111	1990.11.01
	11 中・高速光伝送リンク用送・受信モジュール通則	JIS C 6112	1996.09.20
	12 光伝送用半導体レーザモジュール通則	JIS C 5944	1996.09.20
	13 光伝送用半導体レーザモジュール測定方法	JIS C 5945	1996.09.20
光受動部品	1 光伝送用受動部品通則	JIS C 5900	改 1996.08.01
	2 光伝送用受動部品試験方法	JIS C 5901	1987.03.01
	3 光ブランチングデバイス通則	JIS C 5910	1987.03.01
	4 光減衰器通則	JIS C 5920	1988.04.01
	5 光スイッチ通則	JIS C 5930	1988.11.01
	6 光スイッチ試験方法	JIS C 5931	1988.11.01
	7 空間ビーム光用受動部品通則	JIS C 5860	1990.01.01

委員会	規格名称	番号	制定改正日
光受動部品	8 干渉フィルタ通則	JIS C 5870	改 1992.09.01
	9 干渉フィルタ試験方法	JIS C 5871	1992.09.01
	10 空間ビーム光用光アイソレータ通則	JIS C 5872	1992.09.01
	11 空間ビーム光用光アイソレータ試験方法	JIS C 5873	1992.09.01
	12 光伝送用光アイソレータ通則	JIS C 5932	1993.10.01
	13 光伝送用光アイソレータ試験方法	JIS C 5933	1993.10.01
光測定器	1 レーザ出力測定方法	JIS C 6180	1991.08.01
	2 レーザ放射パワー及びエネルギー測定用検出器, 測定器および測定装置	JIS C 6181	1995.01.01
	3 レーザビーム用光パワーメータ試験方法	JIS C 6182	1991.08.01
	4 光スペクトラムアナライザ試験方法	JIS C 6183	1992.09.01
	5 光ファイバー用光パワーメータ試験方法	JIS C 6184	1993.10.01
	6 オプティカル タイム ドメイン リフレクトメータ (OTDR) 試験方法	JIS C 6185	1995.01.01
	7 光ファイバー用光源試験方法	JIS C 6190	1993.10.01
レーザー安全性	1 レーザ安全用語	JIS C 6801	改 1988.11.01
	2 レーザ製品の放射安全基準	JIS C 6802	改 1991.05.01
	* レーザ保護フィルタおよびレーザー保護めがね	JIS T 8143	1994.03.15
太陽電池	1 二次基準結晶系太陽電池セル	JIS C 8911	1989.11.01
	2 結晶系太陽電池セル・モジュール測定用ソーラーシミュレータ	JIS C 8912	1989.11.01
	3 結晶系太陽電池セル出力測定方法	JIS C 8913	1989.11.01
	4 結晶系太陽電池モジュール出力測定方法	JIS C 8914	1989.11.01
	5 結晶系太陽電池セル分光感度特性測定方法	JIS C 8915	1989.11.01
	6 結晶系太陽電池セル・モジュールの出力電圧・出力電流の温度係数測定方法	JIS C 8916	1989.11.01
	7 結晶系太陽電池モジュールの環境試験方法および耐久性試験方法	JIS C 8917	1989.11.01
	8 結晶系太陽電池モジュール	JIS C 8918	1989.11.01
	9 結晶系太陽電池セル・モジュール屋外出力測定方法	JIS C 8919	1995.09.01
	10 二次基準アモルファス太陽電池セル	JIS C 8931	1995.09.01
	11 二次基準アモルファス太陽電池サブモジュール	JIS C 8932	1995.09.01
	12 アモルファス太陽電池測定用ソーラーシミュレータ	JIS C 8933	1995.09.01
	13 アモルファス太陽電池セル出力測定方法	JIS C 8934	1995.09.01
	14 アモルファス太陽電池モジュール出力測定方法	JIS C 8935	1995.09.01
	15 アモルファス太陽電池分光感度特性測定方法	JIS C 8936	1995.09.01
	16 アモルファス太陽電池出力電圧・出力電流の温度係数測定方法	JIS C 8937	1995.09.01
	17 アモルファス太陽電池モジュールの環境試験方法および耐久性試験方法	JIS C 8938	1995.11.01
	18 アモルファス太陽電池モジュール	JIS C 8939	1995.11.01
	19 アモルファス太陽電池セル・モジュール屋外出力測定方法	JIS C 8940	1995.11.01
光ディスク	1 情報交換用 CD-ROM のボリューム及びファイル構造	JIS X 0606	1990.11.01
	2 非逐次記録を用いる追記形と書換形の情報交換用媒体のボリューム及びファイルの構造 [要約]	JIS X 0607	1996.03.01
	3 130 mm 追記形光ディスクカートリッジ	JIS X 6261	1991.01.01
	4 130 mm 書換形光ディスクカートリッジ	JIS X 6271	1991.08.01
	5 120 mm 再生専用形光ディスク (CD-ROM)	JIS X 6281	1992.01.01
	6 90 mm 書換形及び再生専用形光ディスクカートリッジ	JIS X 6272	1992.09.01
	7 130 mm/1.3 GB 光ディスクカートリッジ [要約]	JIS X 6273	1996.08.01
	8 情報交換のための非逐次記録高密度光ディスク (DVD など) のボリュームボリューム構造及びファイル構造	TR X 0001	1996.08.06

(注) 改: 改正日を示す。TRX 0001 については、公表年月日 (有効期限 3 年) を示す。

*: 素案作成, 日本保安用品協会より原案提出。

12.2 レーザーは機器? デバイス?

ISO では 1995 年のツーソン会議で LD に関する議論を IEC/SC 47 C との間で ad hoc G をつくり進めることが合意され、有本 (日立) を中心にまず国内 ad hoc を

組織した。しかし、ISO ではレーザーすなわち one of the optical instruments との解釈、一方 IEC では (LD に限るが) one of the semiconductor devices であり、上層部の縄張り意識は harmonization 等の美句とは程

遠く、両者この線は一步も譲れそうにない。規格の使用者にとって問題なのはレーザー放射光そのものであるはず。既存の ISO, IEC 両レーザー規格の、用語、測定法の違い等を連結する真にユーザーのための規格を目指しているが、まだ乗り越えるべきハードルはいくつあることか……。

12.3 LEDの安全性

IEC 825-1 (レーザーの放射安全規格) に LED が含ま

れている。LED とレーザーを同じ安全基準で論ずることの是非論、分離案、種々の議論あれど問題は欧州、任意規格たる IEC は自動的に法規制を伴う EN (欧州規格) となり LED にもレーザーにおけるクラス分けが必須となる。TC 76 で緩和案の追補発行は決まったがいまだ本質的解決には程遠い。

その他、ISO では光導波路、PML 等が CD として各国投票に回付されたが、紙面の都合で省略する。