

## 1988 年 光 学 界 の 展 望

「光学界の展望」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、展望の際の検索範囲は、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 「光学界の展望」引用学会等の省略記号

◆学会誌関係	記号	◆講演会関係		
光 学 第 16 卷第 12 号	a-0	第 35 回春季応用物理学関係連合講演会	1	
第 17 卷第 n 号	a-n	第 49 回秋季応用物理学会学術講演会	2	
応用物理 第 56 卷第 12 号	b-0	第 13 回光学シンポジウム	3	
第 57 卷第 n 号	b-n	第 5 回色彩工学コンファレンス	4	
Jpn. J. Appl. Phys. (1) Vol. 26 No. 12	c-0	第 18 回画像工学コンファレンス	5	
Vol. 27 No. n	c-n	第 19 回画像工学コンファレンス	6	
(2) Vol. 26 No. 12	d-0	第 21 回光学五学会関西支部連合講演会	7	
Vol. 27 No. n	d-n	第 27 回微小光学研究会	8	
Jpn. J. Appl. Phys. Lett. Vol. 26 No. 12	e-0	第 28 回微小光学研究会	9	
Vol. 27 No. n	e-n	第 29 回微小光学研究会	10	
J. Opt. Soc. Am. (A) Vol. 4 No. 12	f-0	第 14 回液晶討論会	11	
Vol. 5 No. n	f-n	SID Int. Symp.	12	
(B) Vol. 4 No. 12	g-0	Int. Display Res. Conf.	13	
Vol. 5 No. n	g-n	テレビジョン学会・画像表示研究会 (n は開催月)	14-n	
Appl. Opt. Vol. 26 No. 23	h-01	電子情報通信学会・電子ディスプレイ研究会 (n は開催月)	15-n	
No. 24	h-02	学術振興会 142 委員会（情報科学用有機材料研究会）A 部会（液晶材料）(n は開催月)	16-n	
Vol. 27 No. n	h-n	i-0	MICROOPTICS NEWS (n は回数)	17-n
Opt. Lett. Vol. 12 No. 12	i-n	j-m-n*	春季電子情報通信学会全国大会	18
Vol. 13 No. n	j-m-n*	k-0	秋季電子情報通信学会全国大会	19
Opt. Commun.	k-n	l-n	光メモリシンポジウム '88	20
J. Lightwave Technol. VT-5 No. 12	m-n	Opt. Storage Technol. and Appl. (SPIE '88)	21	
VT-6 No. n	n-n	昭和 63 年度日本分光学会春季講演会	22	
光技術コンタクト 第 26 卷 n 号	o-n	昭和 63 年度日本分光学会秋季講演会	23	
O plus E 1988 年 n 月号	p-0	20th Int. Conf. Solid State Devices and Mater.	24	
オプトロニクス 1988 年 n 月号	p-n	11th IEEE Int. Semiconductor Laser Conf.	25	
IEEE J. SAC Vol. 6 No. n	q-n	レーザー学会年会	26	
分光研究 第 36 卷第 6 号	r-n	CLEO '88	27	
第 37 卷第 n 号	s-n	昭和 62 年度冬期視覚生理光学研究会	28	
Appl. Phys. Lett. Vol. 52, No. n	t-n	昭和 63 年度夏期視覚研究会	29	
レーザー研究 第 16 卷第 n 号	u-n	照明学会全国大会	30	
照明学会誌 第 72 卷第 n 号	v-n	第 3 回光産業技術標準化シンポジウム	31	
月刊 IM 第 27 卷第 n 号				
映画テレビ技術 1988 年第 n 号				
テレビジョン学会誌 第 42 卷第 n 号				

\* Opt. Commun. は、m: Vol (64~68), n: No (1~6) で表記。

## 1. 光 物 理

ここでは光物理だけではなく他の項には含まれない日本の光学界全般についても少しふれたい。

まずははじめに人のことであるが、1988年3月11日に蓮沼宏氏が亡くなられた。筆者は直接の面識はなかったが、現在60歳前後の光関連の研究者にとっては、多くの人が直接・間接に影響を受けたと思われる。氏を偲んで金原繁氏が追悼している<sup>b-6</sup>。

光物理にのみ関連する研究は少なく他項目とのオーバーラップは許していただくこととする。調べた範囲は本紙「光学」および親学会誌である「応用物理」である。これらについては、それぞれの12号の最後に、その一年分の記事のリストとして載っている。とくに応用物理では内容別にも分類されているので、その7(光学的性質とその応用)および8(波動、光学、量子エレクトロニクス)をみればわかりやすい。ここでは、これらのかで光物理に関係が深い記事を概観する。なお応物学会の春・秋の学術講演会光学シンポジウムほかについてはとりあげない。短くてもよいから投稿して、より多くの人にみてもらう機会を増やすことが望ましいと思う。

この光物理の分野の研究動向としては、大まかにいうと“光と物質との相互作用”が大半である。それを中心述べる。

### 1.1 光と物質の相互作用

これと同じタイトルで12回にわたって講義が行なわれた<sup>a-1-12</sup>。光と原子・分子から吸収・散乱・放射とすみ、光と電界・磁界までカバーしている。光物性・光材料にたずさわる開発研究者にとって有用である。

#### 1.1.1 非線形光学

日本光学会主催の冬期講習会として「非線形光学の基礎・材料・応用」(1月25~27日)が開かれた。参加申込みが多くいくらか断わられた。主に企業が光産業の次の種を模索しているようである。a-4に、参加者の感想がある。非線形光学のよい参考書がないので、このテキストをもとにして本をだしたらと思う。また非常に多くの有機非線形光学材料について<sup>b-2</sup>およびそれらの評価方法についてくわしく述べられている<sup>b-9</sup>。

#### 1.1.2 光と半導体

半導体レーザー関連が多い。超高速化のための試み<sup>a-1</sup>、可視化について<sup>a-1</sup>、周波数制御<sup>a-6</sup>、アレイ化<sup>a-1</sup>、高出力化<sup>a-1</sup>、光ICへの発展を考えたミラーレーザー<sup>a-1</sup>、量子井戸構造による特性向上の紙上討論<sup>b-5</sup>等がある。レーザー以外については、キャリア注入型光スイ

ッチ<sup>a-11</sup>、面入出力光電融合デバイス<sup>a-11</sup>、Ga-Asでの発光遷移<sup>b-1,b-2</sup>、化合物半導体<sup>b-6</sup>、超格子の超高速光素子<sup>b-6</sup>等がある。また光学会主催の名古屋講演会(9月16日)では、半導体と光について多くの講演が行なわれた<sup>a-12</sup>。

#### 1.1.3 光とバイオ

生物とレーザー関連の記事が多かったのも一つの特徴である。そのなかで微視的なかかわり・観察が大半である。本誌5号がそれを中心に組まれている(関連記事6編)。光散乱の応用<sup>a-1</sup>、レーザーによる細胞プロセシング<sup>b-7</sup>がある。また応物学会関西支部講演会として「レーザー走査顕微鏡—生物観察応用を中心として—」が行なわれ<sup>a-5</sup>、また第1回めの Biophoton シンポが'87年12月21、22日に行なわれた<sup>a-7</sup>。

#### 1.1.4 そ の 他

上の分類に含まれない記事として、エレクトロクロミック<sup>a-4</sup>、エレクトロルミネッセンス<sup>a-4</sup>、光カオス<sup>a-10</sup>、強誘電性液晶<sup>a-4</sup>、位相共役光パルス伝播<sup>b-7</sup>があり、量子エレクトロニクス研究会主催で光ソリトンと光パルス整形についての研究会(1月25、26日)が行なわれた<sup>a-7</sup>。

### 1.2 光物理と微小化・微細化

この項は分類4の光情報処理、分類6の光記録と重複する部分が多い。そちらも参照されたい。大きく光記録と微細画像にわけられる。

#### 1.2.1 光物理に関係が深い光記録

記録媒体に関する記事とレーザー光を小さく絞り込む光学系に関する記事とにわけられる。

a) 記録媒体：書換え可能な光磁気材料に関するものが大半である<sup>a-11,b-5,b-6,b-10</sup>。

b) 光学系：微小ピッチ・フレネルレンズに関する記事<sup>a-4,b-5</sup>、非球面レンズ<sup>a-8,b-5</sup>、モールドガラスレンズ、屈折率分布レンズ<sup>b-5</sup>があり、また、光ディスク面で生じる回折計算法に関する研究がある<sup>a-9</sup>。

#### 1.2.2 光物理に関係が深い微細光像

顕微鏡系による微細像の観察と、光が逆に進む微細バターニング光学系に関する記事がある。前者には、レーザー顕微鏡<sup>a-5</sup>、3次元画像修正<sup>a-6</sup>、レーザー走査顕微鏡の3次元結像特性<sup>b-5</sup>があり、またパターン評価・観察用に超音波、光音響、赤外線の顕微鏡<sup>a-10</sup>がある。またマイクロ・キャラクタリゼーションとして、フォトルミネセンス、ラマン分光、光熱放射による方法がまとめて書かれている<sup>b-1</sup>(バイオ関連は1.1.3項)。

後者としては、ステッパー用投影光学系について<sup>a-8</sup>

がある。

### 1.3 光物理と計測

この項は物理光学の原理に基づく計測法としてとらえることとする。

まず、偏光解析による超薄膜の測定に関して<sup>a-12, b-12</sup>、レーザーレーダーによる大気状態の観測(法)に関して<sup>b-3(2件), b-5, b-8</sup>、分光応用に関して<sup>a-12, b-2</sup>、光学定数の決定に関して<sup>b-6, b-10</sup>、熱放射の応用計測について<sup>b-6</sup>がある。

### 1.4 その他の

紫外線光学素子に関して<sup>a-12</sup>、軟X線顕微鏡<sup>a-5</sup>、またハイパワー用レーザーおよびそれ用の光学素子の報告<sup>a-12, b-7(5件), b-8, b-10</sup>がある。

### 1.5 出版物に関して

他では述べられないのではと思い、ここに掲げる。O plus E に連載されていた「統・光の鉛筆」(著者: 鶴田匡夫(ニコン))が同じタイトルで単行本として出版された。光物理全般にわたって多くの現象が35項目にわたって書かれている。幾何光学の入門書として「結像光学入門」(啓学出版: 松居吉哉(キヤノン))がある。よく整理されて書かれている。また光物理に関連が深い読みやすい本として、「超を測る—巨大・微小を知る技術一」(産業図書: 森村正直(光計測技術開発(株)))がある。

最後に、「国際化時代の応用物理」特集号<sup>b-4</sup>の「光応用技術とこれからの科学技術」では、1970年頃よりの光技術の通産省研究プロジェクトについて概観しており、興味深い。

(東工大像情報 本田捷夫)

## 2. 結像素子・光学機械

光源の進歩、光学素子加工技術の向上に伴い、取り扱うべき光学系が、その領域を広げつつある。広がりの方向の一つは波長であり、紫外線、X線を扱う光学系が、リソグラフィ、X線顕微鏡等の分野で報告の数を増してきている。他方、従来球面レンズが主であった結像素子も、その形状の面で非球面への広がりを見せ、素材、方法の面で GRIN、ホログラフィック光学素子(HOE)、導波路素子等の展開が見られる。ここでは、これらの展開の一断面として、非球面および GRIN 素子に注目し、これらに關し報告の多かった、光ピックアップレンズを含む微小光学素子、カメラ(ビデオを含む)用レンズ、レーザービームプリンタ(LBP)等の分野について、一年の動きを振り返ってみる。

### 2.1 光ピックアップ用、カメラ用光学系

比較的研究開発の歴史が古いためか、解説記事が多い。まず、プラスチック非球面に関しては、CD用レンズの仕様、性能等を小島<sup>b-5</sup>(コニカ)が、CD、LD、MO用等のレンズについて現状を松丸<sup>a-8</sup>(コニカ)が、またビデオカメラ用レンズへの応用に関し、光学設計、精密加工技術を丸山ら<sup>a-8</sup>(日立)が解説している。加工の面でも金型の超精密加工技術について、細江<sup>1-4</sup>(コニカ)の解説がある。

また、ガラスのモールド非球面に関しては、主に CD用レンズについて、その特徴および現状を田中ら<sup>b-5</sup>(松下)が、写真レンズ、ピックアップ用の金型加工技術、形状測定技術を石灰<sup>m-11</sup>(HOYA)が解説している。

GRIN に関しては、ピックアップレンズについて、西<sup>b-5</sup>(日本板硝子)が、その仕様、性能等を解説し、同じく西<sup>n-8</sup>は、同レンズについて、プラスチック、ガラス、GRIN と全般にわたり、最近の動向を述べた。また、非球面の測定に関しても、横関<sup>b-3</sup>(阪大)が光学的方法について詳しい解説を行なっている。

これら解説記事の多さは、非球面、GRIN 技術が、ピックアップレンズ、写真レンズの分野において、成熟期を迎えることを示すものであろう。

解説以外の報告としては、ピックアップ用プラスチック非球面レンズについて、温度変化による収差変動の検討がある。小倉<sup>2</sup>(東大)は、球面収差の変化を検討し、山下ら<sup>1</sup>(日立中研)は、LD 活性層の温度変化による高速な波長変動に起因する色収差が及ぼす影響について検討した。いずれもオートフォーカス機構ではカバーしきれないレベルの性能変化を考慮した研究である。一方、田中ら<sup>2,10</sup>(松下)は、色収差そのものを低減するために、超低分散のガラス材料を用いたモールド非球面のピックアップレンズを試作した。同じく石灰<sup>10</sup>ら(HOYA)も超低分散ガラスを用いた非球面レンズの検討を行なっている。

GRIN に関しては、2枚組レンズのピックアップを橋高<sup>2</sup>ら(日本板硝子)が報告している。少ない屈折率変化量の素材で高 NA を得るために、ホモジニアスなレンズを1枚付加したものである。以上は、いずれも現実的問題に即した内容の検討である。

### 2.2 ピックアップ以外の微小光学系

主にマイクロレンズアレイに関し、GRIN、非球面双方の報告がある。GRIN では、及川ら<sup>8, a-11</sup>(日本板硝子)がイオン交換法による平板マイクロレンズアレイの特性と、光通信、光コンピュータにおける並列処理への

応用例を示した。また同様のレンズアレイを並列画像システムの入力系として用いることを想定した実験的検討を秋葉ら<sup>2</sup>（東工大）が報告している。山本<sup>1</sup>ら（キヤノン）は、イオン交換法によるレンズアレイにおいて、レンズ周縁に吸収層を設けることによって余分な反射によるフレアを低減し、結像特性を向上させる試みを行なった。

非球面に関しては、マイクロレンズならではの加工法がいくつか提案されている。青山<sup>1,2</sup>ら（立石）は、電子線描画によるマイクロ非球面レンズの製作を提案した。これは基板にレジストをコートし、所望の曲面が得られるよう電子線のドーズ量を調整するものである。53 μm × 53 μm の矩形レンズを 1 mm × 1 mm の領域にアレイ化した試作結果を報告している。久保ら<sup>1,2</sup>（豊橋技科大、リコー）はレーザー CVD により SiON 膜を曲面状に形成したものを、さらにエッチングにより整形するという手法でマイクロレンズを作製した。回折限界の性能をもち、ファイバー射出光のコリメート用として使用できることを示した。また鈴木<sup>1</sup>ら（富士通研）は、高分子薄膜に UV 露光すると体積が増加し、表面張力により凸レンズ状となる作用を利用する方法（前年報告済）において、耐湿性の向上を図り、100 μm<sup>3</sup> のマイクロレンズをアレイ化してイメージセンサーへ応用した例を報告した。

以上のように概観してみると、ピックアップ、写真レンズの分野では、ニーズがはっきりしているため、各報告とも明確な目的をもっているのに対し、マイクロレンズでは、さまざまな加工法、応用例が報告されてはいるが、ニーズがはっきりせず、シーズ側からの報告が多いように思われる。この分野が成熟するには、いましばらく時間を要しそうである。

### 2.3 LBP 光学系

有本<sup>2</sup>ら（日立中研、日立工機）による回転非対称非球面レンズの報告がおもしろい。走査光学系としてポリゴナルミラーを用いる限り、ミラーの面倒れによる副走査ピッチのムラという問題が生じるので、その補正のためアナモルフィック光学系が用いられるが、今度はミラー回転時の光の反射位置ズレのため、像面弯曲、非点収差が非対称に発生してしまう。この報告は、この問題を面の形状を非球面かつ非対称とすることにより、直接的に解決しようとするものである。加工法、試作結果も報告されている。コスト面の問題はあるが、解決法としては正道かもしれない。また久田<sup>2</sup>ら（日立家電研）は同じ問題の対策として、像面近傍にトーリック面のミラー

を配した fθ レンズを報告した。これは、従来からあるシリンドーレンズ法（像面近くに置くと面倒れ補正効果がある）をトーリック面に置き換えて、収差補正機能をも合わせもたらしたものである。前述のように、LBP ではアナモルフィック系が一般的だが、逆にアナモルフィック系であるがゆえの収差補正の困難さがある。これらの報告は、その対策の一つの方向を示すものである。

### 2.4 その他の

GRIN をコンタクトレンズに応用した報告が興味深い。小池<sup>1,9</sup>（慶大、日本コンタクトレンズ）が発表したもので、均質な素材に比べ薄型となり、かつ大幅に収差が低減できる。この報告は、一般紙でも報道され話題となつた。

非球面素子については、リソグラフィ、X線光学の分野でも、主に春、秋の応用物理学会で報告されたが個々に関しては省略する。

最後に測定法に関し、非球面については、和田<sup>1</sup>ら（豊田中研）、穂場<sup>2</sup>ら、黄<sup>2</sup>ら、茹<sup>2</sup>ら（いずれも東工大）、谷田貝<sup>3,4</sup>ら（筑波大）の報告が、GRIN マイクロレンズの収差測定について浜中<sup>1</sup>ら（日本板硝子）の報告があつた。

以上、非球面および GRIN 素子に限って展望してみた。ビデオカメラの急速な普及と同時に、1988 年にはスチルビデオカメラも民生用として本格的に登場した。産業分野でも、社会の情報量の増大に伴い、各光ディスク用レンズ、LBP 用光学系の需要が伸びつつある。いずれにおいても、高性能化、軽量化という矛盾する要素を解決する切札として、非球面、GRIN 素子はいっそうの浸透を見せるであろう。また、これら以外の分野でも、応用の伸びを期待したい。（旭光学 立原 悟）

## 3. 光応用計測

### 3.1 光応用計測一般

#### 3.1.1 概要

研究分野のなかで計測は地味な感じを受けるが、最近 STM が注目を浴びているようである。残念ながら光応用計測では 1988 年中にとくに大きく注目されるような研究成果はなかったように感じられる。そこでまず全般的な傾向から調べてみた。表 1 は、J. Opt. Soc. Am., Appl. Opt., Opt. Commun., Jpn. J. Appl. Phys. に掲載された光応用計測関係の研究論文を分野別、国別に分類したものである。総文献数は従来どおりと思われるが、とくに顕著なのは、アメリカの文献数が非常に少なくなってきており、かわりに、東欧、インドが増えている。

表 1 英文論文件数分類

国別 分野	日本	アメ リカ	西欧 諸国	東 欧 その他	計
干渉計	5	5	4	1	15
スペックル	0	0	1	7	8
ホログラフィ	2	1	2	3	8
モアレ (トールポット) (ロンキーテス) トを含む	1	0	2	3	6
散乱光検出 フィルタリング	2	1	1	1	5
その他の	0	0	3	0	3
計	10	7	13	15	45

表 2 国内講演会発表件数分類

	大 学	公的研 究機関	企 業	計
干渉計	10	6	8	24
スペックル	10	3	3	16
モアレ	10	0	1	11
ホログラフィ	3	1	3	7
散乱光検出 フィルタリング	2	0	5	7
その他の	3	0	0	3
計	38	10	20	68

日本も総数は微増していると思われる。分野別では依然、干渉計が多く全体の 1/3 を占め、半面、レーザードップラー (LDV) はまったく見あたらなくなってきた。

表 2 は春、秋、応用物理学連合講演会、光学シンポジウムで発表されたものの中から、光応用計測に関するものを分類したものである。やはり干渉計が全体の 1/3 強を占めている。予想以上に多かったのは、スペックル関係である。

これら全体的まとめのなかで残念に思ったのは、光応用計測に関して、邦文論文が、「光学」掲載の、干渉計 2 件、モアレ 1 件の計 3 件だけだったことである。もっと積極的に投稿していきたいものである。

### 3.1.2 干渉応用計測

干渉応用計測のなかで、位相検出法の改良、とくに変調方法、誤差解析、高精度化に関する研究が、論文 17 件（邦文論文も含む）中 9 件、国内講演会発表では 24 件中 13 件と、過半数を占める。手段として、位相検出を使っているものを含めるともっと数は多くなる。特徴的だったのは、位相検出法のなかでも英論文にはフリンジキャニング法、国内講演会ではヘテロダイン法が多かったことである。日本では、横ゼーマンレーザーや光

音響素子等、ヘテロダイン用光学素子が手に入りやすいためと推測される。

位相変調および周波数変化方法として、①焦点ずらし $j^{-66-1}$ 、②半導体レーザーの電流変化 $^{1,3,h-1}$ 、③E.O.<sup>1</sup>、ファラデー素子 $^{h-5}$ 等偏光を利用したものの、④ファイバーをピエゾ素子で応力<sup>2</sup>、変位<sup>a-9</sup>を与える方法、⑤その他光音響素子<sup>1</sup>、進行波型光変調<sup>1</sup>等が新しく提案されている。

高精度化、誤差解析では、ハミング関数の適用<sup>f-8</sup>、強度分布測定からのシューディング補正<sup>f-8</sup>、やはり強度分布から外乱光の影響除去<sup>h-14</sup>、フィードバック制御による外乱の除去<sup>3</sup>、非線形性の誤差解析<sup>1</sup>等があった。またヘテロダイン法において、クオーツ利用<sup>2</sup>、偏光分離不備で発生する非線形性補正<sup>2</sup>等が提案されている。

干渉計の応用目的として、やはり距離、形状、変位測定が最も多く、論文では 17 件中 10 件、講演では 24 件中 15 件程度となっている。次に多かったのは屈折率分布測定であった。注目すべき研究結果として、プロックゲージを測長したときの表面の位相変化による影響が、従来考えられていたよりかなり大きく 0.12~0.13 μm あったことが報告されている<sup>2</sup>。

### 3.1.3 スペックル応用計測

スペックル応用計測に関して、日本から投稿された論文はなかった。国内の講演会発表は表 2 のように 16 件であった。国内講演を通して傾向を調べると、従来の 2 重露光スペックル写真や、スペックルパターンを画像処理 (ESPI、歐米でよく研究されている) して変形や振動を測定する研究は減少してきている。かわりにフォトマル<sup>1,2</sup>、二分割センサー<sup>1,2</sup>やリニアアレイセンサー<sup>1,2</sup>を用いて入力した信号を相関演算等の統計処理して、物体上的一点の情報を得る発表が全 16 件中 9 件と過半数を占めている。

スペックル 2 重露光法のなかで興味を引いた発表は、BSO 素子を使って、実時間で 2 重露光を得る方法で、スペックル干渉縞の鮮明度向上法まで言及している<sup>1</sup>。後者の統計的処理方法の発表では、スペックルパターンの 2 分割センサーからの信号を差動増幅し、信号のゼロクロス点の数から、速度測定を行なう方法が提案された<sup>1</sup>。

応用面では、変形測定より、速度や流速測定が多くなってきている。

### 3.1.4 ホログラフィ、モアレ応用計測

表 1, 2 に示すように、ホログラフィ応用計測に関する、日本の論文数、発表件数は非常に減ってきてている。

半面、モアレ、とくにトールボット干渉計については、コンスタンスに研究は続けられている。これは、ホログラフィの応用が HOE、ディスプレイ、光演算のほうに移っているためと思われる。

ホログラフィやモアレでも、位相検出が多く行なわれている。ホログラフィでは参照光路中の鏡をピエゾ素子で動かしたり<sup>i-9</sup>、モアレでは格子を微少に動かして位相変調を行なっている<sup>h-3</sup>。

ホログラフィで興味深い論文に、E.O. を用いて、高速で参照光路を切り換ながらダブルパルスホログラムを撮影する方法があった<sup>h-18</sup>。このようにすると、2回の露光間で被検物体が横移動したとき生じる干渉縞鮮明度低下が補正できる。

モアレ応用計測では、モアレ法と CT 法を利用した3次元屈折率分布測定に関するものが論文に1件、講演に1件あった。前者は炭酸ガスボルテックスリング内屈折率分布<sup>a-12</sup>、後者はコンロ上の温度分布<sup>1</sup>を測定している。またホログラフィ<sup>2</sup>あるいはモアレ<sup>2</sup>を利用した IC 露光機用アライメント方法が研究されている。

### 3.1.5 散乱光検出、その他

IC の異物、欠陥検出に散乱光検出を利用した方法が民間企業の研究所を中心に、数多く提案されている。いずれの方法も、入射角、受光角<sup>h-6</sup>を限定したり、空間フィルタリング<sup>1</sup>で、本来 IC 上にあるパターンからの散乱光を除去することに苦労している。注目すべき発表に、画像処理手法を併用することにより、さらに信頼性高く、異物からの散乱光を検出する方法が提案された<sup>2</sup>。

LDV に関する論文は見あたらなかったが、粒径、屈折率、流速の同時測定<sup>1</sup>、回転格子による流速2次元ベクトル測定法<sup>1</sup>が提案された。

### 3.1.6 今後への期待

光応用計測分野で、位相検出法に続く、画期的アイデアがそろそろ生まれてきててもよいのではないかと思う。道具立てとしては、高調波紫外レーザー、位相共役素子、空間変調素子、超格子薄膜技術、可視半導体レーザー、画像処理用 DSP 等、新しいものがそろってきている。ニーズとしても、10~100 m を  $10^{-6}$  以下の精度で測定、 $0.1 \mu\text{m}$  以下の精度の三次元形状測定、 $0.1 \mu\text{m}$  以下の横分解能をもつ表面プロファイロメータ等、身近な問題にも未解決なものも多く、今後の研究に期待が寄せられている。

(東芝 小野 明)

## 3.2 光ファイバ応用計測、光応用測定器

光ファイバ応用計測・光応用測定器に関する最近1年間の研究動向を応用物理学会講演会、光学懇話会主催

の光学シンポジウムを中心に、光学、応用物理、Jpn. J. Appl. Phys. (1), (2), J. Opt. Soc. Am. (A), (B), Appl. Opt., Opt. Lett., Opt. Commun., J. Lightwave Technol., および関連の学協会誌、講演会の発表を調べて解説する。

光ファイバ応用計測の分野では、ファイバの耐電磁誘導、防爆性、可とう性の特徴を活かして各種の物理量(温度・圧力・振動・変位・回転角)を検出する光ファイバセンサーの研究が相変わらず活発である。光の微小な位相変化を検出するファブリ・ペロー干渉型温度センサーでは、100~1050°Cまでの温度範囲で  $2.5 \times 10^{-4}\text{°C}$  の温度分解能、-200°Cで  $8 \times 10^{-4}\text{°C}$  がショット雑音限界(入力パワー 100 μW)であることが指摘された<sup>i-11</sup>。

国内の研究に目を向けると、実用上の観点から種々の方式を用いた干渉型温度センサーが提案されている。空間フィルタ検出器を用いた光ファイバ干渉温度センサー<sup>a-5</sup>、空間フィルタリングを利用した多モードファイバ・マッハ・ツェンダー干渉計による温度計測<sup>h-15</sup>、また2個の光ファイバ干渉計を差動にして広いダイナミックレンジをもたせたタイプ<sup>i-10</sup>も興味深い。

全ファイバ形位相変調方式光ファイバジャイロで  $0.02^\circ/\text{h}$  という慣性航法用に匹敵する性能が得られて以来、さらにスケールファクタの安定性と広いダイナミックレンジの達成に種々の試みがなされてきた。直交偏波利用の光ヘテロダイイン方式光ファイバジャイロ<sup>1,i-9</sup>、正弦波状位相変調を利用してヘテロダイイン光ファイバジャイロ<sup>2</sup>、これに対してリング共振型光ファイバジャイロも最近になって実験的な研究が進歩した<sup>a-6</sup>。周波数変調法<sup>1</sup>、低コヒーレンス光源の使用<sup>1</sup>、端面反射のドリフト特性への影響<sup>i-5</sup>、外部鏡付半導体レーザーによるスペクトル純度の改善<sup>i-3</sup>が図られ、また偏波結合の共振特性への影響<sup>2</sup>も検討された。このほか、振動・変位計測の分野では、光ファイバ正弦波位相変調干渉計による実時間変位計測<sup>a-9,h-19</sup>、偏波干渉型光ファイバセンサーの位相検出<sup>1</sup>、ヘテロダイイン・光ファイバ干渉計による微小変位の測定<sup>2</sup>、2周波ヤング縞の位相検出による光ファイバセンサー<sup>2</sup>、光ヘテロダイイン干渉法を用いた外乱除去型光ファイバセンサー<sup>2</sup>に着実な進展が見られる。

一方、光ファイバを干渉型センサーとして用いる場合に問題となる伝播光の振幅・位相のゆらぎ特性も精力的に研究されている。複屈折ファイバの長手方向振動に対する位相変動特性<sup>1</sup>、伝播モード変動特性<sup>1</sup>、引張状態下の複屈折単一モードファイバの消光比の変化<sup>1,i-10</sup>、横手方向振動に対する伝播モードの位相変動特性<sup>2</sup>、長手方

向振動による位相差のインパルス応答<sup>h-02</sup>, およびこれらファイバの擾乱による伝播光ゆらぎのヘテロダイン干渉法を用いた相関処理<sup>k-2</sup>が報告された。光ファイバ中の不完全性に起因するモード結合係数, レーリー後方散乱係数の測定に関しては OTDR が有力な手段になっている<sup>k-1</sup>。これに対して直交偏波モード間の群遅延時間(偏波モード分散)をヘテロダイン干渉法により測定する方法が提案されて、ファイバ外力とモード結合係数の関係が明らかになり<sup>h-1</sup>, 薄膜光導波路に作製された方向性結合器の電力結合係数が評価された<sup>k-7</sup>。

光ファイバ応用計測の分野で新しい技術動向は、個々のバルク光学部品を光ファイバ部品で置き換える、それらを融着接続あるいはコネクタ接続することにより一体化した全ファイバ形干渉計を構成することである。これまでにファイバ形偏光子, 波長板(位相板), 偏光ビームスプリッタ等の受動部品が実現されているが、能動部品として圧電性高分子を被覆したファイバ形位相変調器が提案された<sup>1,i-10</sup>。その他、異なる波長分散特性をもつファイバを用いた結合器による光波長フィルタ<sup>i-2</sup>, 金属誘電体薄膜の積層構造によるファイバ形偏光子<sup>2,h-12</sup>, 陽極酸化アルミナ膜を用いた微小偏光素子の提案<sup>2</sup>があり、ファイバ形偏光解消素子(Lyot デポラライザ)の設計理論<sup>f-11</sup>, nm 以下の通過波長帯域を有する多層膜干渉フィルタ<sup>h-8</sup>も報告され、全ファイバ光合分波器への応用が期待される。

光ファイバを伝送路に用いるセンサーの開発は実用化レベルの域に達している。液面レベル計の開発<sup>1,2</sup>, 光ファイバ屈折計<sup>1</sup>, 光学式液体濃度センサー<sup>2</sup>, 光ファイバ束を用いた物体表面計測<sup>1,2</sup>, ペアファイバ受光方式による粒径計測<sup>1</sup>, プローブ光とピックアップ光に单一および多モードファイバを用いる粒径モニターの試作<sup>h-15</sup>, ミー散乱理論に基づく光ファイバ粒径分布測定器<sup>e-1</sup>, などがある。また 20 km の光ファイバと近赤外 LED/LD を用いた CH<sub>4</sub> ガス検知遠隔測定システムが開発された<sup>k-0</sup>。このほか、光励起による表面プラズマ振動(表面プラズモン)を利用した化学センサーの提案があり、屈折率変化的測定<sup>1,2,h-6</sup>, 媒質の屈折率が温度により変化することを利用した温度センサー<sup>1</sup>もある。

光ファイバの非線形効果を用いた能動デバイス(光スイッチ, 論理ゲート)に新しい進展が見られ、誘導ラマン、誘導ブリルアン散乱の研究も活発である。1 W 程度の入力光強度でも光ファイバ中では 1 MW/cm<sup>2</sup> になるために、ブリルアン利得スペクトルの測定<sup>2,3,i-7</sup>が容易であり、多モードレーザーによるポンピングと関連して

調べられた<sup>g-2</sup>。また P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> をドープした光ファイバ中のラマン利得は、長さ 800 m, 入力光強度 15 W に対して 15.4 dB の利得が得られた<sup>i-8</sup>。パワー密度に依存して光ファイバの屈折率が変化する光カーポー効果はよく知られているが、最近の研究によればその非線形屈折率変化は 100 fs 以下の超高速現象であることが明らかになった。1 W のレーザー光が 100 m 長のファイバを伝播するとπ位相シフトを生じることを利用して強度変調、強度弁別ができる、論理素子(AND ゲート)が作られた。複屈折光ファイバ中の円偏波(右円偏波、左円偏波)間の強度依存結合による偏波不安定性(polarization instability)を利用した偏波スイッチが実現して、また複屈折光ファイバの主軸の一つにポンプ光パルス、45° 方向にプローブ光パルスを伝播させることにより光カーポー効果ゲート変調器の可能性が示された<sup>o-7</sup>。

光ファイバ形スイッチとしてこのほかにエバネッセント結合を用いた非線形光ファイバ結合器がある。入力光強度が弱いと  $L_c = \pi/2C$  ( $C$ : 結合係数) ごとにパワーが入れ換わるが、強度が増大するにつれてパワー変換の周期は長くなり、かつ非線形効果のために結合は弱くなる。十分に大きい入力光強度は入射ファイバ側に残り結合はほとんど生じない。5 mm 長のデュアルコア・ファイバ(コア直径 2.8 μm, コア間隔 8.4 μm)に 32 kW 100 fs の極超短パルスを入射させることにより超高速光スイッチングを実証した<sup>i-10</sup>。この非線形ファイバカップラは全ファイバ形スイッチング素子として期待される。

(北大工 今井正明)

#### 4. 光情報処理

この分野ではホログラフィ、CT などが実用化時期にあって改良の努力が続けられている。画像処理においては電子技術の進展を背景に処理対象がより情報量の多い画像へと拡張が行なわれている。新規な分野としてはニューラルネットワークを中心とした光コンピューティングに対する報告が増加しているのが目立った。

##### 4.1 画像形成

ディスプレイ用のホログラムを目的とする機会が増えている<sup>b-8</sup>。とくにエンボス法によるホログラム複製技術によりカード、雑誌への転写が可能となり<sup>a-7</sup>、本誌の口絵にも掲載された<sup>a-7</sup>。これらはレインボウホログラムであるが、通常被写体は限定されたものであるのを、平面型ホログラフィックステレオグラムをまず合成する手法により自由度を増やす<sup>b-8</sup>、合成光学系をアクロマチックホログラムの作製系としてフルカラー化を可能にす

る<sup>a-7, b-18</sup>, などの実験が行なわれた。また透明性をもつたホログラムの開発<sup>a-7</sup>など表現手段を広げる研究が今後も継続されるであろう。

診断機器としてすでに普及した CT の分野では画像再構成法の新しい手法として simulated annealing を用いることが提案され良い結果が得られている<sup>1,2,6</sup>。またデータ収集を高速化するためにコーンビームを使用することが検討された<sup>2</sup>。CT のデータ収集には X 線以外にもさまざまな技術が利用されるが今後 NMR によるものが発展し、非破壊性、得られる情報の豊富さから診断映像法の中心になると予想されている<sup>b-6</sup>。

顕微鏡の分野ではレーザー顕微鏡、とくに走査型のものが注目を集めている<sup>a-5</sup>。共焦点型のものは高分解能、高コントラストであり、さらに三次元情報も得られる。その結像特性の解析が詳しく行なわれた<sup>5, b-5</sup>。通常の光学顕微鏡の場合でも三次元情報を得るために提案が成されている<sup>1,2, a-6</sup>。

#### 4.2 画像処理

高速のプロセッサ、大容量のメモリが安価に入手できることにより大量の情報をもった画像（カラー、三次元、動画像）が利用されるようになり画像処理の要求も出てきている。まずカラー画像では相関演算の性質が調べられ<sup>5, j-68-2</sup>、認識に応用された<sup>j-67-5</sup>。また像修正用の最小二乗フィルタが求められた<sup>f-1</sup>。実際の応用として内視鏡の画像強調、色ずれ補正の例があり、すでに処理装置が開発されている<sup>5</sup>。三次元画像についてはいかに画像を入力するかがまず大きな問題であり、光レーダー法、アクティブステレオ法などのレンジファインダの手法が数多く提案されている<sup>5</sup>。さらに動きを伴った場合に連続する画像から三次元情報を推定することが行なわれており<sup>a-2</sup>、マシンビジョンにおいて重要な技術となる。動画像処理においては処理速度がとくに問題となるため専用システムの開発が盛んであり、ビデオレートでラベリングや動物体抽出を行なうものが試作された<sup>5</sup>。映像信号処理用に開発されたシステムは拡張性に富んだマルチプロセッサ構成であり<sup>6</sup>、今後の方向を示唆するものであろう。

他の動向として人工知能技術の導入が挙げられる。画像の分類、理解のための強力な手法を提供するものであり<sup>5,6</sup>、ルール方式に基づく X 線画像スクリーニングシステムなどが構築されつつある<sup>a-11</sup>。この方面での研究はますます盛んになろう。

#### 4.3 光コンピューティング

さまざまな方向で模索されてきた光コンピューティン

グもまとまった方向がいくつか出始めたように思われる。最大の話題は光ニューロコンピュータであろう。これに触れた解説だけでも多数に上る<sup>a-11, b-5, b-8, b-10</sup>。電子デバイスで実用化レベルに達していることに見られるアルゴリズムの進展と光の並列性、多数の素子に対するインターネクションの能力への期待とがこのテーマへの研究の集中を促したと考えられる。Hopfield モデルに基づく装置が試作され、閾値処理にノイズを導入することで系がローカルミニマムに陥ることを避け連想精度を向上させた<sup>1</sup>。この装置はさらに時分割多重、周波数多重の手法によりニューロン数を増加することが図られている<sup>2</sup>。空間光変調管を用いた光アソシエーションと呼ばれるシステムの実験が行なわれた<sup>1,2</sup>。連想記憶を行なわせるものであり、学習が可能という大きな特長を有している。

光の空間並列性を利用するには面型のデバイスが必要であり、光電融合機能素子 (VSTEP)<sup>a-11</sup> などが開発された。この VSTEP を並列に動作させ光クロスバーリングが実現されており<sup>2</sup>、光通信技術と組み合わせて早期実用化の可能性があるものと思われる。

論理演算の分野では OPALS と呼ばれるシステムが試作、複屈折素子による符号化<sup>1,2</sup>、などの実用化、パターン論理による演算の拡張<sup>1, h-14</sup>、を目指して研究が行なわれており期待される。

併で国際会議が開かれ日本からは 3 番目に多い 13 件の発表が行なわれた<sup>a-11</sup>。この会議は 1990 年には日本での開催が予定されており、わが国における研究の到達点を示すものとなろう。 (キヤノン 徳光 純)

### 5. 画像表示

#### 5.1 液晶ディスプレイ (LCD)

基板表面における液晶分子の配向制御技術の確立はすべての液晶ディスプレイの基本であるが、その機構はまだ十分に解明されていない。この問題に関して、強誘電性セラミック<sup>1,16-6</sup>、LB 膜<sup>1,11,12</sup>、非晶質高分子膜<sup>11</sup>、液晶高分子膜<sup>11</sup>、その他各種の表面<sup>11</sup>を用いてネマティック液晶や強誘電性液晶の配向が検討された。とくに強誘電性液晶については、均一な配向を得ることが表示素子や光デバイスへの応用の鍵となることから各種の検討が行なわれ、ラビング強度を調節して表面アンカーリングを適当な範囲内に精密に制御する方法<sup>11,14-2</sup>、電界によって配向を矯正する方法<sup>11</sup>、LB 膜を用いる方法<sup>11</sup> 等が報告された。

大型のディスプレイとして最も大きな進展がみられた

のはスーパーパーツイストネマティックモード (STN モード) を用いた単純マトリクス LCD の高品位・高解像度・大容量化である。すでに実用されている 1 層型 STN セルの黄緑色の背景色を無色化し、コントラストを改善するために、パラメータの最適化<sup>14-2</sup>、微量な色素の添加によるスペクトルの補正<sup>14-2</sup>、2 枚の STN セルの積層による光学補償（2 層型 STN セル）等に関する発表が行なわれた。とくに 2 層型 STN セルによる表示品位の向上は著しく、短期間にその実用化が行なわれるとともに、最適設計条件の確立<sup>11,14-2,14-8</sup>、マイクロカラーフィルタによるマルチカラー化<sup>12,13,14-8</sup>やフルカラー化<sup>11,14-8</sup>が達成された。さらに最近では、補償用の STN セルの代わりに複屈折フィルムを用いて軽量化と生産性の向上を図った方式が提案され<sup>11,13,14-8</sup>、開発が進められている。

高品位の LCD としてはアモルファス Si(a-Si) の薄膜トランジスタ (TFT) を用いたものの研究開発が依然として盛んであり、その完成度もますます向上している。この分野の研究開発は日本の独壇場であるが<sup>12,13,14-8</sup>、そのなかで唯一米国 GE 社の奮闘が注目された<sup>12,13</sup>。なお、この種のディスプレイは大型化が困難であるといわれてきたが、対角 14 インチのフルカラービデオディスプレイが開発され<sup>13</sup>、その画面サイズもさることながら表示品位の高さが改めて認識され、いよいよ本格的な LCD の時代が訪れつつあることを感じさせる。

大型化と並行して、基礎となる重要な研究がいくつか行なわれている。それらは、MoTa の採用によるゲートの低抵抗化<sup>12</sup>、信号線の欠陥対策の工夫<sup>12</sup>、TFT 基板表面の平滑化<sup>12</sup>、TaO<sub>x</sub>/SiN<sub>x</sub> 2 層ゲート絶縁膜の採用<sup>13,14-11</sup>、液晶表示モードの選定と最適化の検討<sup>1,2,11,14-2</sup>、フリッカの解析<sup>1,11,15-9</sup>、コントラストの向上<sup>13,14-11</sup>等である。

一方、ポスト a-Si として、ポリ Si を用いた TFT の研究が再び活発化している。大型化<sup>14-2</sup>、低温化<sup>13</sup>のための成膜法や構造の工夫が行なわれ、対角 9.5 インチのディスプレイが試作されている<sup>12</sup>。ポリ Si が関心を集めている理由は、その高速スイッチング性を生かして、周辺駆動回路をパネル内に作り込むためである<sup>12,13,14-2</sup>。

高速応答と大容量表示の可能性から関心を集めていた強誘電性液晶については、先に述べた分子配向制御とともに、応答速度の向上が重要な課題の一つである。各種の材料が検討され、応答速度の大幅な改善が行なわれるとともに<sup>12</sup>、高速マルチカラー表示<sup>11,14-8</sup>や白黒ビデオ表示<sup>13</sup>が実現されている。また大容量化の点では、1280

×1120 画素のディスプレイが試作され<sup>13</sup>高い関心を集めた。

大画面ディスプレイでは、レーザー書き込みセル<sup>12</sup>、コレステリック・ネマティック相転移型セル<sup>1,13,14-8</sup>、アクティブマトリックスセル<sup>2</sup>等を用いた投射型ディスプレイ、モジュール型ディスプレイ<sup>14-2</sup>、3 枚のアクティブマトリックスと光ファイバ束を用いたディスプレイ<sup>14-11</sup>等が報告されている。

## 5.2 エレクトロクロミックディスプレイ (ECD)

これまでで WO<sub>3</sub>を中心として多くの研究開発が積み重ねられ、実用レベルに達しているが、時分割駆動の難しさ、応答速度の制約 (0.1 秒程度)、動作寿命 (10<sup>7</sup> サイクル程度) 等の点で LCD に対してなかなか優位性を發揮できない状態である。しかし、明るさの点では圧倒的に優れており、その特長を生かして反射率可変の自動車用ミラー (防眩ミラー) などの開発が進められている。電力ケーブルの積算漏電表示器や調光ガラス、大型表示器等の開発も行なわれており、需要の動向によっては進展の可能性も少なくない。研究面では、WO<sub>3</sub> 膜に関する地道な基礎的研究がいくつか行なわれている<sup>1</sup>。WO<sub>3</sub> 以外の材料としては、フタロシアニンと導電性粉体との混合膜<sup>1</sup>、窒化スズ薄膜<sup>1</sup>、イリジウム酸化物薄膜<sup>2</sup>、Yb フタロシアニン<sup>2</sup>、フタロシタニンとポリビニル- $\kappa$ -カルバゾール複合膜<sup>2</sup>、高粘性有機 EC 材料<sup>2</sup>等が検討されている。

## 5.3 エレクトロルミネッセントディスプレイ (EL)

すでに実用されている ZnS:Mn の EL パネルについて、信頼性の向上、高輝度化、長寿命化のための基礎的研究がいくつか行なわれている<sup>1,2,12,13</sup>。

一方、カラー化のために、ZnS:Mn 以外の薄膜発光材料として、赤色発光の CaS:Eu<sup>1,2,12</sup>、緑色発光の ZnS:Tb<sup>2</sup>、ZnS:TbF<sub>x</sub>、ZnS:TbOF<sup>13</sup>、ZnS:Tb, F<sup>15-3</sup> 等、青色発光の Ta<sub>2</sub>O<sub>5-x</sub><sup>1</sup>、SrS:Ce<sup>1,13</sup>、SrS:Ce, O<sup>1,13</sup>、SrS:Ce, K, Cl<sup>1</sup>、SrS:Ce, K<sub>2</sub>S<sup>13</sup>、SrS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub>:Ce<sup>15-3</sup>、CaS:Tm<sup>1</sup> 等、多色発光の SrS:Ho<sup>1</sup>、SrS:Nd<sup>1</sup>、SrS:Pr<sup>1</sup>、SrS:Sm<sup>1</sup>、SrS:Hm<sup>1</sup>、Ce<sup>2</sup> 等、白色発光の SrS:Ce, K, Eu<sup>1,2,12</sup>、SrS:Pr, Ce<sup>2</sup>、SrS:Ce/CaS:Eu<sup>15-3</sup> 等が検討されている。また、これらの材料を用いて実際に 3 色 1 層型のパネルが開発されフルカラーディスプレイの可能性が示されている<sup>12</sup>。このようなカラー化に関して、赤と緑についてはすでにかなりの輝度と色純度が得られているが、依然として青についてはそれらを両立させることが難しく、今後の課題として残されている。

(東北大工 内田龍男)

## 6. 光記録

光記録の分野には、①写真等の固定記録、②光ディスク等の1次元時系列記録、③ホログラムによる2次元空間記録、④ホトケミカルホールバーニング(PHB)による周波数空間多重記録等がある。本稿では実用性が高く、最近進展の著しい②に関し、1年間の動向を展望する。

### 6.1 装置

光ディスクは媒体可換、大容量の特徴を生かし一括記録メディア、データベース用ファイルとして広く利用されると考えられる。今年はとくに 130 mm, 90 mm 径の光ディスク装置の高性能化に関する発表が目立った。まず情報転送速度の向上については符号化、オーバライト<sup>20</sup>、マルチヘッド<sup>1,2</sup>、ピットエッジ記録<sup>18</sup>がある。三菱電機のサンプルサーボ用(4, ∞, 2, 5)符号は現用の(2, 7)符号に比べ波形干渉に対して有利で 1.25 倍の線記録密度向上の可能性を有している<sup>18</sup>。オーバライトではソニーの薄膜磁気ヘッド活用型<sup>20</sup>はヘッド設計、記録過程の詳細解析などで好感がもたれた。しかし光磁気型も相変態型も実用的オーバライトについてはまだまだ問題が多い。

次にアクセス時間の短縮<sup>20</sup>では分離光学系による可動部軽量化、速度制御型アクセス等の検討が行なわれている。また、オンライン用に媒体非可変の固定型光ディスクライブラーが開発された<sup>20</sup>。低価格化では 90 mm 級光磁気ディスクの発表が相次いだ<sup>18,20</sup>。ヘッドクラッシュの心配がないので、ラップトップパソコンの2次記憶として期待されている。また、光フロッピー<sup>19</sup>、光テープ<sup>21</sup>、光カード<sup>20</sup>も具体的提案がでてきた。以上、光記録の適用分野を拡大するためのさまざまな努力が続けられている。

### 6.2 光ヘッド

装置に対応して光ヘッドには情報転送速度の向上、アクセス時間の短縮、低価格・小型化が要求される。

情報転送速度の向上には記録・消去における回転待ちをなくすためのオーバライト・即時読み出し、線記録密度の向上、マルチビームによる並列記録再生、高速回転(高出力半導体レーザー)がある。線記録密度の向上には、エッジ記録、LD の短波長化、LD 第2高調波の使用等が考えられる。日本電気や NTT ではマルチビームの可能性を追求している。5 チャンネル、5 MB/s の記録・再生実験では、CNR=49 dB、クロストークは -30 dB 以下である<sup>2</sup>。今後、このような目的のためにドライブ

ロセスによる微細加工技術を基盤にした光検出器付きマルチチャネルレーザーの開発が進むと予想される<sup>1,2,a-1</sup>。高出力半導体レーザー<sup>1,2</sup>は非点隔差、戻り光ノイズ、寿命等とのトレードオフの関係になる場合が多く、現状では実用値として 40 mW が無理のないところである。

アクセス時間の短縮については小型化しやすいスイングアーム型ポジショナに光ヘッドの一部を搭載し、精細アクセスには高剛性構造により機械共振周波数を高めたガルバノミラーを使用した例がある<sup>21</sup>。この結果、平均アクセス時間は 50 ms 以下に短縮されている。最近、従来のメカにかわり表面弾性波 SAW を用いた電子偏向<sup>20</sup>、偏向機能付き半導体レーザー<sup>1</sup>が研究されている。しかし、アクセス時間の大部分を占めるポジショナ移動の高速化には、光ヘッドを磁気ヘッドなみに小さく、かつ簡便にするほかないと考えられる。

低価格化については光部品の複合化による部品点数削減法がある。具体的には非球面単一レンズで従来の数枚構成の対物レンズを置換<sup>20</sup>、あるいは 1 枚のホログラム素子に複数機能をもたせた例<sup>17-3</sup>、アライメント補正用ホログラムレンズ<sup>17-3</sup>、spherical grating lens<sup>1</sup>、さらに光導波路からの光放射と集光機能を有するフォーカシンググレイティングカプラ等がある。いずれも低価格化と同時に小型化を実現しているが、温湿度に対する信頼性、光伝達効率が小さい等の理由で、現在では CD 用にしか使われていない。

以上のようなチャネル数増大、ヘッド可動部重量の低減、光集積回路の光伝達率の向上を阻む原因是光記録媒体が対物レンズと数 mm 離れているため、直径数 mm の大型レンズが必要なことにある。抜本的解決策として半導体レーザーと光記録媒体を近接させる外部共振型超小型ヘッドが提案され、高品質の再生信号が得られている<sup>20</sup>。また、このような光ヘッドに搭載するスポット径 1 μm の集光型半導体レーザーが作製されている<sup>17-3</sup>。なお、光磁気媒体の新しい信号検出法として外部共振型 LD による周波数変化検出法<sup>20</sup>、円偏光による反射率変化検出法<sup>20</sup>等が提案された。将来が楽しみである。

### 6.3 媒体

光磁気ディスクが実用段階に入ったため、光磁気媒体については信頼性関連の発表が増加している。一方、記録磁界が不要なため装置の簡略化が可能な相変態媒体の研究が活発である。研究の狙いは 1 ピーム高速オーバライト、長寿命、繰返し回数等である。松下電器では高速用<sup>20</sup>には GeSbTe で 30 m/s でのオーバライト (22.5 Mb/s), 80°C, 80% で 500 時間劣化なし、低速用<sup>2</sup>には

GeTe-SbTe-Sb を発表した。日立製作所ではそれぞれ InSeTlCo, InSbTe を発表した<sup>2</sup>。今回初めて寿命に関するデータが明らかにされ、相変態媒体も着実に進歩していることをうかがわせた。さらに将来よりの媒体としてフォトンモード<sup>20</sup>, PHB<sup>20</sup> を用いた基本実験が行なわれている。

#### 6.4 むすび

光ディスクも Philips 社の提案以来 15 年を経過し、データベース用の第一世代光ディスクの性能が見えてきた。一方でオンライン用の第二世代光ディスクを構成する光ヘッドや光記録媒体の芽が生まれつつある。今後このような研究結果が続々発表され、光記録に新しい世界を切り開くことを期待する。  
(NTT 浮田宏生)

### 7. オプトエレクトロニクス・光デバイス

#### 7.1 光通信分野

1988 年は導波路デバイスにとっては記念すべき年であったといえよう。まず LiNbO<sub>3</sub> 系ではすでに高速変調器ならびに 2×2 スイッチが商品化されていたが、ファイバ付きのモジュールが入手可能になった。いまのところ、CTI と Ericsson から輸入代理店を通じて購入できるようだが、実験室の定盤の上でのみ動作する物との先入観を打破する画期的な出来事である。しかし、挿入損失・動作電圧・値段のいずれもが高く、課題は今後に多くを残している。実際の高速光伝送の世界では 1.6 Gb/s が NTT をはじめ世界的に実用化されつつあり、それ以上の高速となると半導体レーザーの直接変調ではチャーピングと呼ばれる波長のパルス内変動が距離制限の主要因になってくる。分散の少ないファイバと受信感度を上げた APD により 10 Gb/s の伝送実験を行なった例も報告されているが、一般的には LD 直接変調の限界は数 Gb/s でそれ以上は外部変調器が使われると予測されている。

これに応えるデバイスが実現されつつある。一つは LiNbO<sub>3</sub> でマッハ・ツェンダ導波回路の Y 分岐損失を低減し、かつ帯域を 12 GHz まで拡げたもので、電圧が 6.4 V と高い点を除けば実用に大きく近づいたといえる。課題は後述するスイッチと共に通の信頼性である。もう一つの外部変調器として DFB レーザーに電界吸収型光変調器をモノリシックに集積化したデバイスでチャップ量が従来の DFB レーザーより一桁近く小さく高速変調に有利な点が明らかにされた。以上の二つの外部変調器が今後の超高速光通信の重要なデバイスになっていくと予想される。

一方、受光素子については、InGaAs-APD で GB 積の増大が相次ぎ、70~75 GHz の実験値（理論的には 140 GHz）が報告された。AlGaSb-APD で低雜音かつ 65 GHz との報告もあった。基礎的な研究としては超格子構造 GaAs/AlGaAs を導入することも試みられつつある。受光素子の大きな流れとしては OEIC 化が進んだことである。なかでも pin/HEMT モノリシックや pin/AMP フリップチップで実際に 2 Gb/s の受信が可能になり、超高速伝送やコヒーレント伝送の受信系に適用できる見通しが出てきたことは特筆すべき進展といえる。また、ヘテロエピ成長を導入して OEIC のプロセス面での改良を行なったり、pin/FET をアレイ化するなどの前進がみられた。今後の方向として一つには 2 μm 帯の pin, APD の研究と受信回路を一体化するための受光素子+導波回路の集積化が新しい研究課題になりつつある。

光ファイバ関連で大きな話題となったのはベル研のソリトンによる 40 km 伝送である。原理は同じベル研の長谷川によりすでに提唱されていたが、伝送実験は初めてであり、今後の研究テーマとして大きくクローズアップされる可能性がある。これに関連してファイバラマン増幅に適した Er ドープ・ファイバの性能が向上しており、進行波型 LD 増幅器などとともに光増幅の研究も一段と前進している。また LiNbO<sub>3</sub> などの機能性材料をファイバ化する試みも積極的に行なわれており、ファイバ自身の延伸によるスポットサイズの制御などと相まって、光回路の一部をファイバが受けもつという流れができつつある。

ファイバとレーザーの結合部などに必要となる偏光子については従来、複屈折結晶や偏光プリズムが用いられているが、LAMIPOL 多層偏光子の性能向上に加えて、LN プロトン交換偏光子の提案があった。これら大量生産が可能な素子は今後の光回路の普及に重要な要素技術である。

LiNbO<sub>3</sub> 導波路スイッチは光交換などを目的にマトリクス化が進んでいるが大きな課題の一つに偏光依存性の除去があった。これに対して TM モード光に対する動作点と TE モード光に対する動作点を一致させる条件で方向性結合器を製作して、偏光無依存スイッチが相次いで報告された。またマトリクスの構成を工夫することにより、スイッチの集積度を上げる点についても報告が相次いだ。一方、小規模なスイッチについては変調器と同様にパッケージ化されたもので温度特性など実用レベルのデータが報告され始めた。LN のもう一つの課題で

ある動作の安定性に対しても結晶表面の電気的性質とプロセスとの関係を調べるなどの地道な研究が再び盛んになっており、材料・物性面での研究は LN デバイスの実用化とともに今後活発化が予想される。また、LN と同系統の LT ( $\text{LiTaO}_3$ ) に導波路を形成するという新しい流れも始まった。

導波路デバイスでは LN が実用化のフェーズに入ったのに対して、半導体系材料は多くの可能性を求めて機能と回路の両面で研究が活発化しつつある。まず低損失化が一段と進み  $0.1 \text{ dB/cm}$  近くまで伝播損失が下がってきた。一方、機能については、光双安定素子でスイッチング速度の向上に加えて光を用いたフリップ・フロップ動作が報告された。これは電気信号による制御で同期に制限を受けるといわれていた光交換などの限界を打破できる可能性を示した点でエポックといえよう。また、面発光レーザーの室温発振や VSTEP のような面型光回路が発光素子に近いところから集積化の見通しが立ってきたことは 21 世紀に向けて明るい材料である。ガラス系やポリマー系でも地味ではあるが光インターフェクションなどを指向して着実に研究が進んでおり、 $\text{SiO}_2$  系の ARROW や周波数分割多重回路、プラスチックモード変換回路の試作が行なわれている。

材料面で効果の大きい非線形材料の研究が活発に行なわれている。GaAs, InGaAsP 系の MQW とは別に、ドープガラス、有機非線形材料に対しても期待が高まっており、基礎的な研究についての発表が増加しつつある。

最後に光通信全般からみた光デバイスの 1988 年の動きをまとめると以下のようになる。幹線系光通信は Gb/s 帯に入り、やるべき方向がはっきりした。これに対し加入者系などの非幹線系ではコスト重視と新機能の付加の 2 点から、今までにはないデバイス/パッケージを要求している。一方、伝送系以外の光交換、光コンピューティングにつながる新機能素子に研究者は流れつつある。このようなかで 1990 年代の前半を光デバイスがどのように発展していくか興味深いところである。

(富士通研 中島啓幾)

## 7.2 信号処理・情報機器分野

### 7.2.1 導波型・光集積デバイス

この分野では、導波路 SHG、導波型センサー、光集積ピックアップ、オプティカル・コンピューティングを目指した半導体光機能デバイス等の研究が活発である。導波路 SHG 素子は、光源の短波長化による光ディスクの高密度記録の要請に対して、短波長（緑青）半導体レ

ーザー開発の遅延がある一方で、長波長半導体レーザーの高出力化の進展が背景にあるようである。変換効率を改善するためのプロセス技術の改良のほか<sup>2</sup>、 $\text{LiNbO}_3$  素子では、周期的なドメイン反転（非線形光学定数  $d_{33}$  の符号の反転）構造を導入することで位相整合条件をコントロールするという手法が報告された<sup>2</sup>。今後、位相整合の有効な手段になると期待される。

半導体関係では、多重量子井戸構造による非線形光導波路の研究が活発である<sup>1</sup>。導波型のセンサー・デバイスの研究は相変わらず盛んである。干渉計構造や<sup>a-6, k-6</sup>、表面プラズモンを用いて、温度<sup>1</sup>、化学<sup>1</sup>、pH<sup>2</sup>、風量<sup>1</sup>、流量<sup>2, b-1</sup>、磁界センター<sup>2</sup>、屈折計<sup>2</sup>等が報告されており、実用デバイスが期待される。光集積ディスクピックアップ関係では、導波路のモード分散とカップリングの偏光選択性を用いることで、光磁気ディスク用にデバイスが発展させられた一方で<sup>k-6</sup>、グレーティングカップラの集光特性や<sup>1</sup>、ピックアップのレスポンス特性<sup>2</sup>という基本にたちもどった報告があった。また、トラッキングに導波路型 SAW 光偏向素子を用いる試みもあった<sup>1, 17-3</sup>。

光偏向素子関係は、過去一時期停滞したが、半導体レーザーの活性層中のキャリア分布を制御したり<sup>1</sup>、半導体導波路の伝播定数や屈折率を変化させたりする構造の素子の研究が活発化してきている<sup>1, 2</sup>。

オプティカル・コンピューティングで総称される新しい光信号処理用デバイスとして、光双安定素子の研究が活発で、制御光も光である全光型の素子の構造・動作についていくつかの新しい提案があった<sup>2</sup>。また、面型光処理を目的として光メモリ機能と論理機能を合わせもつ面入出力光電融合機能素子が提案された。この素子は可変光接続等も可能で、オプティカル・コンピューティング用デバイスとして大いに期待される<sup>a-11</sup>。今後、オプティカル・コンピューティングを指向した光集積デバイスの研究はますます活発化していくであろう。

### 7.2.2 微小光学デバイス

ホログラム素子の研究が活発化している<sup>1, 2, 17-3</sup>。対象は光ディスクヘッド用である。この背景には、小型・軽量・低価格の要請に対して、オーソドックスな光学素子を用いた光ヘッドの開発がすでに一巡したためと、複数機能を複合したホログラム素子が光ヘッド用に開発されたことがあげられる<sup>17-3</sup>。誤差検出光学系への適用のほか、偏光特性を利用した光磁気ディスクヘッドへの適用もある。また、回折素子であるため、波長不感化にも注力されている<sup>2</sup>。こうした格子素子の特徴である複製

法については、光重合法<sup>1,3</sup>、ゾルゲル法<sup>2</sup>、蒸着法<sup>2</sup>などが報告されている。

光ヘッド用素子に関しては、外部共振器型半導体レーザーを用いて光磁気信号を発振周波数の変化として検出する等新しい方式の研究の萌芽もみられる<sup>2,20</sup>。昨年まで盛んであったマイクロフレネルレンズの研究は、非球面プラスチックレンズやガラスモールドレンズ技術の著しい発展のためか<sup>a-8,b-5</sup>、発表は少なくなり<sup>1</sup>、代わって、各種製法のマイクロレンズの報告が増加した。レーザーCVD<sup>1,2</sup>、フォトリソグラフィ手法<sup>1</sup>、電子線描画<sup>1,2</sup>、フォトポリマリゼーション<sup>1</sup>等により非球面レンズや、レンズアレイが製作され、その応用についても検討されている<sup>1,2</sup>。屈折率分布レンズアレイをマッチド・フィルタリングに使うことが提案されているが<sup>1-2</sup>、この研究が米国の大学院生が日本の企業で行なった研究であることは、研究の国際化という点で一つの新しい流れを示しているように思われる。

微小光学素子としての偏光素子の研究も活発である。背景には方解石やルチル等の偏光子を、小型・低価格にしたいという要請がある。金属と誘電体を積層したもの<sup>2</sup>、ポーラスな酸化アルミニナ膜を用いたもの<sup>2</sup>、LiNbO<sub>3</sub>に回折格子を形成した素子等があり<sup>1</sup>、高い消光比が得られており実用は近いと思われる。光ディスク用のレンズでは、記録再生時の半導体レーザーの波長変動に対応するための低色収差のプレスガラスレンズや<sup>2</sup>、残留複屈折の小さい光磁気用プラスチックレンズも実用された<sup>a-8,b-5</sup>。

(日電光エレ研 小野雄三)

## 8. 分 光

'88年の分光分野における研究状況を、春季・秋季の応用物理学会および分光学会の講演会を中心に概観する。この分野の性格上、他のさまざまな方面での応用に関する研究が多数を占めるが、ここでは主として装置に関するものに重点を置いてとくに印象に残った点をまとめることとする。

### 8.1 分光素子

4月に放射光学会が設立され、8月には第3回シンクロトロン放射装置技術国際会議（筑波）が開催されるなど、この方面での研究活動が活発に行なわれた。

軟X線領域においては、どのような物質でも吸収係数が大きいので、反射光学系が主体となるが、なかでも直入射光学素子としての多層膜反射鏡が注目を集めている。山本ら（東北大）は前年に引き続き高反射率を得るための膜物質選択基準に従って Rh/Si および Mo/Si の

多層膜反射鏡を製作した<sup>1</sup>。また、このような反射鏡の設計に必要とされる薄膜状態の物質の軟X線光学定数を反射法により決定している<sup>1,2</sup>。岩崎ら（大阪電通大）は、Au/C および Mo/Si の多層膜について 50~200Å の波長範囲で分光反射率を計算し、膜厚を楔形に変化させることにより広帯域で数十%以上の反射率を有する反射鏡が可能であることを示した<sup>22</sup>。

これらの多層膜の反射率を理論値に比べて低下させる原因として、膜の表面および界面の粗さが問題とされており、塙本ら（キヤノン）は、各種の蒸着条件による Mo/Si 多層膜の TEM による評価を行なった<sup>2</sup>。このほかにも、膜物質の選択、蒸着法、膜厚制御などを含めた多数の報告があった。

ホログラフィック凹面回折格子の収差補正法に関して野田（筑波大）らは非球面波露光法を提案している。球面波の干渉による方法より設計の自由度が増すため、従来の方法では補正できなかった収差が改善できる。この方法を用いて、フラットフィールド・ポリクロメータ用の格子の非点収差の改善<sup>22</sup> および定偏角モノクロメータ用の格子のコマ収差の改善<sup>23</sup> が可能であることが示された。

機械刻線式の凹面格子について、千葉ら（東北大）は従来の楕円刻線による非点収差補正時の設計波長域以外の波長域における分解能の低下が、刻線形状を双曲線とすることにより改善できることを示した<sup>2</sup>。

軟X線用の回折格子としては、内海ら（NTT）が W/Be 多層膜の蒸着により高効率の反射型格子を<sup>1</sup>、小枝（島津）らがホログラフィック露光法と反応性イオンビーム・エッティング法との組合せにより透過型格子<sup>1</sup>を製作した。

回折格子の検査法に関する研究では、小塩（芦屋大）らは高密度 (18000 本/mm) 刻線格子の表面形状を STM により測定する際の探針先端の曲率半径による依存を考察し、ブレーズ角の評価が可能であることを示した<sup>2,22,23</sup>。この目的に使用する STM 用の探針として、角田ら（東北大）はダイヤモンドを機械研磨することにより必要な先端の形状を得ている<sup>2</sup>。また、両角ら（信州大）は縦方向反転シャーリング干渉を用いることにより凹面格子の刻線誤差が 2 倍の感度で測定できることを示した<sup>2</sup>。

ゾーンプレート (ZP) は分光素子としてよりも、X線領域や微小光学における結像素子などとして多用されている。X線領域用としては齊藤（日本真空技術）らが同心円状の断面をもった積層型の ZP をマグネットロンスパッタ法により作製し<sup>1</sup>、藤崎ら（新技術開発）は 2.4~

4.4 nm 用の位相 ZP 材料として Ti, V, Cr および Co が適していることを見いだした<sup>1</sup>。また、ZP による結像に関して後藤ら（信州大）は軸外し ZP の波面収差および光線収差の式を導出した<sup>1-3</sup>、神谷ら（岐阜大）は ZP を通った光線の追跡法を示した<sup>4-6</sup>。

## 8.2 分光装置・分光技術

SOR 光を対象とした装置としては、山中ら（分子研）が MCP 光電子増倍管を用いた時間相関光子計数法を採用した時間分解分光測定システムの概要について<sup>7-8</sup>、村松（NTT）らがシリンドリカルミラーと凹面回折格子との組合せによるアンジュレータ分光用の新しい斜入射型モノクロメータの機械設計について<sup>1</sup>報告した。

フーリエ分光器としては、中野ら（阪大）が複光路のマーチン・パプレット/マイケルソン混成型の構成によって全赤外域をカバーする装置を試作した<sup>1</sup>。可視域においても微弱光を対象としたフーリエ分光法の研究が行なわれている。千賀ら（阪大）は複屈折干渉計とフォトダイオードアレイを用いたマルチチャンネル検出型のフーリエ分光装置を採用した蛍光分光システムを開発し、蛍光励起・発光マトリクスを短時間で測定できることを示した<sup>22</sup>。また、名越（新技術開発）らは極微弱な生物発光の分光計測用として、静止型の Sagnac 干渉計と超高感度の 2 次元光子計数装置からなるフーリエ分光システムを開発した<sup>1,2,22</sup>。いずれも空間的な直線状の干渉縞を利用することによって、インターフェログラムを記録する際の光路長の走査のための可動部を必要としない構造になっている。マルチチャンネル光検出器を応用した高速・高感度の分光装置に関する研究はこのほかにもますます盛んに行なわれている。

スペクトルデータ処理では、内山ら（慶大）はフーリエ変換型の NMR 分光計によって得られた生体の自由誘導減衰信号に対して最大エントロピー法を適用し、高分解能のスペクトル推定に成功した<sup>b-2</sup>。岡田（豊田高専）らは、ファブリ・ペロー干渉計によって得られる多光束干渉图形の解析に、積分方程式に関するヒルベルト・シュミットの解法を応用する高分解能のスペクトル復元法の種々の復元条件および雑音の影響について詳細に検討し、干渉图形をスペクトルと見なす従来の方法より約 1 衍分解能が向上することを示した<sup>7-4</sup>。また、魚住（北大）らは濃度・吸光度間の相関特性を利用して多成分混合物中の成分スペクトルを推定する方法に伴う推定誤差の評価法を提案し<sup>1</sup>、これを応用した誤差の低減法を試みた<sup>2</sup>。

2 次元画像の分光処理が注目されており、情報の収集

法、処理法などの研究が進められている。岡本ら（理研）は、インコヒーレント・ホログラフィと符号化開孔結像法の手法を応用して、3 次元情報である分光画像情報をいったん 2 次元画像にコード化して記録し、これをコヒーレント光学系により再生する方法<sup>1</sup>、および計算機により再生する方法<sup>2</sup>を提案した。伊東ら（阪大）は、フーリエ分光映像法によって分光画像情報を測定する際のノイズ特性を解析し<sup>1</sup>、この手法を顕微鏡システムに応用した場合、被写界深度の深いことを示した<sup>2</sup>。また、笛木（徳島大）らは複数の物質が混在する場合の蛍光多重分光画像データから個々の物質の分布パターンを分離抽出するための解析的な方法を提案し、生物試料の顕微蛍光分光画像に適用した<sup>1,2</sup>。（岐阜大教養 吉田 稔）

## 9. レーザー

### 9.1 半導体レーザー

半導体レーザーの高性能化は、DH 構造による室温 CW 発振を契機として、各種のストライプ構造の発明や光 IC 実現に向けた新構造の実現により達成されてきて、光通信をはじめ各種の光情報処理や光計測そして CD, VD などの民生機器に利用され、いまや半導体レーザー生産は月産 100 万個以上にもなってきた。

ここでは、最近、研究の重点が向けられている光ファイバ通信用レーザーの高性能化や光記録・再生用半導体レーザーの研究開発を中心として、項目ごとに活動状況を展望してみたい。

#### 9.1.1 高出力レーザー

光ディスク用高出力レーザーとしては、利得に効くレーザーチップ内部の活性層を厚く、端面破壊に効く端面部活性層を薄くした T<sup>3</sup> レーザーに、長共振器構造をとることにより、波長 790 nm で 160 mW 以上の CW 発振 AlGaAs/GaAs レーザーが開発された<sup>24</sup>。

さらに、高出力では、40 本の注入ストライプを作成した AlGaAs レーザーで最大 2.6 W の CW 発振を得ており、半導体レーザーもワット級出力時代に入ってきた<sup>25</sup>。

#### 9.1.2 低閾値レーザー

高出力レーザーとは全く逆に、光出力は小さくとも、消費電力を極力小さくしていこうという「マイクロレーザー」の動きも活発である。装置間/内および LSI チップ間の信号伝送を光で行なう、光相互接続用の光源として注目されている。

これは、量子井戸構造を作り、そこに波動関数をとじ込め、バンド内の量子化準位を利用して、レーザー利得

を向上させ、閾値電流  $I_{th}$  を大幅に低減させることにより実現できる。現在、 $I_{th}$  は 1 mA を切る程度になっている。理論的には、単一量子井戸 (SQW) や量子細線 (quantum wire) レーザーで、 $I_{th}$  がおのおの 100  $\mu$ A や 2~3  $\mu$ A が得られ、まさにマイクロ (アンペア) レーザーが近い将来実現できそうである<sup>9-12</sup>。

### 9.1.3 短波長レーザー

光情報処理システムの高機能化、とくに情報処理密度の拡大、処理速度の高速化の観点から半導体レーザーの短波長化が望まれている。とくに、780 nm GaAlAs 系半導体レーザーが、コンパクトディスクに使われ始めて以来、さらに短い波長域で発振する半導体レーザーの実現は、システムサイドの熱い期待、デバイス技術者の夢に支えられて開発が行なわれてきた。

InGaAlP 系 600 nm 帯半導体レーザーの室温連続発振が成功して以来、3 年が過ぎたが、この間、GaAlAs 系での限界、InGaAlP 系 600 nm 帯での優位性等が明確になり、実用レベルに達した。

InGaAlP 系半導体レーザーでの今後の開発は、利得ガイド構造レーザーを採用した、簡単な応用 (バーコードリーダー等) から、複雑な応用のためにその性能改善が進むものと思われる。その場合の基本形は、InGaP 活性層による 0.67  $\mu$ m 帯で行なわれながら、この InGaAlP 系材料での短波長化の限界まで開発が進むだろうと思われる<sup>25,r-11</sup>。

### 9.1.4 単一モードレーザー

動的単一モードレーザーは、高速直接変調時にも安定な単一軸モード動作が得られる半導体レーザーの総称であり、種々の構造や方法でその実現が試みられたが、回折格子を集積した分布反射器 (DBR) レーザーや分布帰還 (DFB) レーザーが最も単一軸モード安定性に優れており、現在ではこれらの二種類の半導体レーザーを指すとしても過言ではない。これまで、分布反射器 (DBR) レーザーの動的単一モード動作の実現、その発振波長の電気的制御による波長可変半導体レーザーの実現などの高機能化の可能性が明らかにされてきた。

バンドル導波路集積 (BIG : bundle integrated guide) 構造は、このような背景のもとに考案された新しい光集積導波路構造であり、DBR レーザーのみならず種々のモノリシック光集積回路への展開が期待できる<sup>25,r-11</sup>。

### 9.1.5 面発光レーザー

従来の端面から発光するストライプ型レーザーとは違い、基板に対して垂直に光を取り出すことができる面発光レーザーである。とくに、それは 2 次元アレイ化が可

能であるので、光情報処理用や光コンピュータ用として注目され、今後の発展が期待されている。

1988 年には、プラグ反射ミラー等を設ける工夫をすることにより、初めて室温 CW 発振に成功した<sup>2,25</sup>。

### 9.1.6 シリコン上レーザー

IC, LSI 用として大々的に使用されている Si 基板上有 GaAs, InP をエピ成長して作成したのが Si 上レーザーである。とくに、Si が機械的に強く、熱伝導率が大きく、大面積でかつ安価であるので、高光力レーザー、OEIC 用や Si LSI 間/内の光結線用レーザーとして非常に有望視されている。

1988 年には、GaAs 系で 130 K で CW 発振し<sup>2</sup>、InP 系では室温で CW 発振したと報告された<sup>24</sup>。

### 9.1.7 広帯域変調レーザー

光通信においては、半導体レーザーの広帯域変調が重要である。現在、半導体レーザーの直接変調の帯域は数十 GHz にも及ぶが、将来の超広帯域光通信用や光によるマイクロ波の伝送用として数十 GHz におよぶ超高速度変調技術が開発されつつある。この点、量子井戸構造半導体レーザーは有望視され、なかでも変調ドープ多重量子井戸 (MQW) 構造をとることにより、50 GHz の変調も可能になろうとしている。またコヒーレント光通信や干渉計測には、ライン幅を極力小さくする必要がある。とくにコヒーレント通信では、この値を 1 MHz 以下にする必要があるが、この方面的半導体レーザーも活発に研究開発されている<sup>25,r-11</sup>。

以上のとおり、現在の半導体レーザーは多種多様であるが、全般にわたって我が国の研究開発はトップレベルにあり、各方面で世界をリードしている。その応用も、光ファイバ通信などの通信機器用から、CD, VD などの民生機器用、レーザージャイロなどの計測機器用、さらにはレーザー治療など医療機器用として広範囲な分野に利用されようとしている。(名工大工 梅野正義)

## 9.2 気体レーザー、固体レーザー

### 9.2.1 気体レーザー

この数年エキシマレーザーの開発がこの分野の話題をさらってきたが、「レーザー研究」にエキシマレーザー特集号が組まれ、これまでに進められてきた研究の総括がなされている<sup>r-4</sup>。

現在主流を占めている UV 自動予備電離容量移行型の KrF レーザーで、ピーキングキャパシターを容器壁に埋め込むことにより、3.8% (700 Hz, 150 W) という高い効率が達成されている<sup>27,r-4</sup>。高速繰返しに関しては、XeCl レーザーにおいて入力エネルギーを絞り、高

いクリアランス比のもとで動作させることにより、2 kHz (出力 37 W) が得られた<sup>2</sup>。また、500 Hz で 260 W の平均出力も報告されている<sup>3</sup>。

今日のエキシマレーザーの最も重要な課題は、繰返しが数 kHz で、出力が kW オーダーの大型システムを開発するとともに、半導体や化学プロセス等の工業的応用に十分対応できるように、ガスやコンポーネントの長寿命化と、システムの信頼性の向上を図ることにある。そのような観点から、学会発表の場においても、単に試作したレーザーの出力や特性を競い合うだけでなく、レーザーの動作機構、ガスの劣化機構、各種予備電離方式の検討、パワーの設計、スイッチング方式の検討、窓材や鏡などのコンポーネントの開発など、基本に立ちもどった基礎的研究が多くなっているように思われる<sup>1,2</sup>。

エキシマ用誘電体多層膜反射鏡の損傷閾値を高める研究が進み、KrF 用の場合、メーカー品で 4~6 J/cm<sup>2</sup>、実験室レベルでは 10 J/cm<sup>2</sup> の高耐力ミラーができるようになった<sup>4-12</sup>。

本年はエキシマレーザーの同調と狭帯域化の研究が活発であった。これは、リソグラフィへの応用が本格化したことの現れであろう<sup>1-8</sup>。エタロン等の同調素子を用いれば、リソグラフィに必要な数 pm のスペクトル幅を得ることが可能であるが<sup>1-4</sup>、長期にわたるスペクトルの安定化もまた重要な課題である<sup>2</sup>。スペクトルの安定化や、単色化と空間的コヒーレンスの関連などが研究されている<sup>2</sup>。誘導ブリルアン位相共役鏡を用いて、スペクトル幅約 500 kHz で、回折限界に近いビームが得られているのは興味深い<sup>27</sup>。エキシマレーザーステッパーは KrF を使用し、NA = 0.4、解像度 0.5 μm 程度の試作品が各社出そろい、16~64 Mbit DRAM への適用をめざして、レーザー・光学系・レジストの開発が精力的に進められつつある。

大型の電子ビーム励起エキシマレーザーに関しては、超短パルス光の増幅によりテラワット級レーザーが実現したことは大きな成果である。東大物性研では、モード同期色素レーザー光の高調波を大口径のエキシマレーザーで多段增幅し、XeCl の場合 310 fs のパルス幅で 1 TW<sup>1-7</sup>、KrF の場合 390 fs で 4 TW の出力を得た<sup>b-10</sup>。また、電総研でも出力 710 J の電子ビーム励起 KrF レーザーが完成し、同様の大型短パルスレーザーシステムを開発中である<sup>2</sup>。これらは X 線レーザーのような短波長域レーザーの励起用として開発されている。現在最も尖頭出力の高いレーザーは大型の Nd : ガラスレーザーであるが、エキシマレーザーではパルス幅の圧縮によっ

てかなりコンパクトなシステムでそれと同等以上の尖頭出力が得られ、しかも波長が短いことから、その分野の研究に新しい側面が切り開かれるものと期待される。

その他のレーザーでは、ウラン同位体分離用レーザーの開発が進展しつつあることが注目される。原子法による分離では銅蒸気レーザー励起色素レーザーが使われる。銅蒸気レーザーでは大口径化によって出力が向上し、単機で 100 W (5 kHz) を越えた<sup>2</sup>。発振効率は 1.1 % で、二台を組み合わせて 200 W に達し、色素レーザー励起の実験が行なわれつつある。この種の金属蒸気レーザーは医学や画像処理への応用も期待されている。

一方、分子法に関しては、TEA-CO<sub>2</sub> レーザーに固体化した磁気パルス圧縮電源を適用し、1 kHz をめざした高速繰返し発振の研究が進められるとともに、パラ水素ラマンレーザーの改良も行なわれている<sup>2</sup>。ラマンレーザーについては、可変波長半導体レーザーの注入によるストークス光発生効率の改善が報告されている<sup>27</sup>。ウラン以外ではガドリニウムの同位体分離が検討されている<sup>2</sup>。

CO<sub>2</sub> レーザーより波長が短い CO レーザー (5 μm) や、ヨウ素ケミカルレーザー (1.3 μm) において、kW 級の加工用システムの開発が行なわれており、CO レーザーでは 5 kW が達成された<sup>2,27</sup>。

真空紫外域 (157 nm) で高速繰返し発振が可能な唯一のレーザーである、F<sub>2</sub> レーザーの出力が 100 mJ を突破したことにより、半導体プロセッシングへの応用にも希望がもてるようになった<sup>2</sup>。

X線レーザーに関する研究が阪大、理研、物性研等の大型ガラスレーザーや CO<sub>2</sub> レーザーを用いて進められている。激光 XII 号を使った実験において、プラズマ中のイオン再結合により、最も短い波長では水素様 Al の H<sub>α</sub> 線 (3.87 nm) での利得が観測されている<sup>2</sup>。X線レーザー研究の当面の課題は、閾値の低減によるコンパクト化、X線ミラーの開発によるコヒーレンスの改善、短波長化である<sup>a-9</sup>。

一方、非線形光学効果を用いた周波数上昇変換も短波長化が進んでおり<sup>1-4</sup>、Kr や Xe ガスを媒体とした二光子共鳴四波混合によって、波長 72 nm 近くまで可変波長コヒーレント光の発生が可能となり、分光計測にも使われるようになった<sup>b-7</sup>。

#### 9.2.2 固体レーザー

数年前から活況をとりもどした固体レーザーは、ひき続き活発な研究が行なわれている。わが国では企業を中心とし、平均出力の大きな加工用のレーザーの開発が先行し

ていたが、しだいに研究の対象も広がり、X線源など応用分野も多様化する傾向にある。

固体レーザーにおける Nd: YAG レーザーの地位はいまだにゆらいでいない。4台のレーザーを縦列にして CW またはパルス動作で 1.4 kW を越える装置が開発された<sup>26, b-7</sup>。スラブ型では  $5.6 \times 18.4 \times 153.9 \text{ mm}^3$  の結晶で、出力は 500 W に達している<sup>26</sup>。

スラブ型の固体レーザーはこのほか種々の材料で試みられており<sup>27</sup>、比較的大型の結晶が得られる Nd: GGG では、 $9.5 \times 55 \times 201 \text{ mm}^3$  の大きさで、繰返し 3 Hz のフラッシュランプ励起によって最大平均出力 830 W にまで向上した<sup>2</sup>。また Q スイッチやモード同期実験も行なわれている。スラブ型の Nd: ガラスレーザーは、コンパクトなリソグラフィ用 X 線源としてのレーザープラズマ発生のために、短パルスで大出力エネルギーのものが開発目標となっており、これまでに 3 Hz で 45 W の装置が試作された<sup>2</sup>。さらに熱負荷を高めたムービングスラブガラスレーザーでは、出力 300 W (効率 2.5%) に達している<sup>2</sup>。

半導体レーザー (LD) 励起の Nd: YAG レーザーは基本波出力 100 mW 程度のものが市場に出回り始めた。SHG によるグリーン光の発生も容易にできる。国内での研究は今年になって本格化してきた感がある。高出力が得られた例としては、2 本の YAG ロッドをタンデムにし、4 個の LD (全出力 2.51 W) で励起して、700 mW (TEM<sub>00</sub> モード) の基本波出力が報告されている<sup>2</sup>。

Nd ドープのファイバレーザーには Ar レーザーや LD 励起の CW 動作のものと、高出力のバンドル型のものが研究されている。後者はクラッド径 200 μm のリン酸ガラスファイバ 410 本を束ねたもので、冷却効率が良いのでフラッシュランプ励起で平均出力 100 W (20 Hz) が得られている<sup>26</sup>。

Nd 系以外の固体レーザーとしては、Er: YAG レーザーの開発が行なわれている。このレーザーは 1.5 μm と 2.9 μm で発振し、光ファイバが使える波長であるため、医学的な応用が考えられている。フラッシュランプ励起で、2.9 μm 帯において 10 Hz で約 1 J が得られた<sup>2</sup>。また、ガラス母体でも、1.5 μm で 350 mJ, 2.9 μm で 60 mJ が報告されている<sup>26</sup>。

可変波長のアレキサンドライトレーザーに関しては、ノルマル発振で単発 10 J 以上のシステムが開発され、市販されるようになった<sup>26</sup>。可変波長域は最大 700~820 nm であり、効率は YAG レーザーに匹敵する。また BBO 結晶による第 3 高調波発生も報告された<sup>2</sup>。非常に

広い同調域をもつといわれるチタン添加サファイヤレーザーに関してはまだ報告が少ないが、フラッシュランプ励起で 28 mJ が得られたことが報告されている<sup>2</sup>。波長域はいまのところミラーで限定され、700~800 nm である。この材料は蛍光寿命が 3 μs で固体レーザー材としては短いので、短い発光時間のフラッシュランプを使う必要がある。

(九大工 前田三男)

## 10. 視覚光学

春季と秋季の応用物理学会講演会においては、(イ)明るさ知覚および薄明視における色の見え(7件)、(ロ)網膜の短波長感度錐体の特性(5件)、(ハ)色覚の時間特性(4件)、(ニ)調節、輻轆、瞳孔運動などの運動系(4件)、(ホ)運動奥行き視(1件)、(ヘ)視野と平衡感覚の関係(1件)、(ト)応用として、信号灯の視認性評価(1件)などに関する発表があった。(イ)、(ロ)、(ハ)は互いに関連しており、発表件数の比率が高い。この傾向は、視覚光学分野における最近の研究の方向を特徴づけている。そこで、(イ)、(ロ)、(ハ)に焦点を絞って展望したい。

### 10.1 明るさ知覚および色の見え

ひとの明るさ感覚に対応する測光量として「輝度」がある。しかし、色光の色度が異なると、たとえ輝度が等しくても、「明るさ」は必ずしも等しく見えず、その輝度と明るさの相違は視環境の明るさに依存して(とくに、薄明視レベルにおいて)変動する。「輝度」が、われわれが知覚する色光の「明るさ」を正確に表わしていないことが明らかになったため、新たに、「明るさ」測光量を定義するために、「明るさ」の感度曲線の標準化がなされた。その標準化と平行して、「明るさ」感度曲線における個人差の要因<sup>1</sup>、刺激の提示時間<sup>1, 28</sup>や網膜照度<sup>28</sup>の影響、明るさと輝度の相違の網膜照度依存性<sup>1</sup>、「明るさ」の空間的寄せ集め<sup>29</sup>などが検討された。また、物体色の「明るさ感」は色を鮮やかに見せる光源下でより強いこと<sup>1, 2</sup>、色度図上での等彩度曲線は等明るさ効率曲線と一致しないこと<sup>1</sup>、「明るさ」知覚に短波長感度錐体が関与していること<sup>2, 29</sup>などが示された。

「明るさ」感度曲線の標準化の次に、どのようにして「明るさ」を表わす測光量を導き出すかという問題がある。「明るさ」を正確に反映するような「明るさ」測光システムの開発を目指して、活発に研究が進められている。そのなかで、マイクロコンピュータを搭載した薄明視測光装置が試作され、評価実験が行なわれた<sup>2</sup>。これは視覚系における「明るさ」情報の生成モデルを模倣し、薄明視での「明るさ」感度を、実験によって取得した明

所視と暗所視の「明るさ」感度の線形和によって近似している。この装置の評価実験が行なわれたところ、測光量がわれわれの「明るさ」知覚をよく反映していることが確かめられた。ただ、この装置は、原理的に、等明るさに対しては同じ数値を与えるが、現在のところ、数値と「明るさ」の間の関係が組み込まれていない。広い範囲の輝度レベルで、自然視での「明るさ」を導出する測光モデルも提案されており<sup>28</sup>、今後、われわれが知覚する「明るさ」を正確に測光する測光システム、測光装置の開発が期待される。

色紙を空間に固定して光を照射したとき、その色紙の周囲（背景）に適切な輝度レベルの光があれば色紙からの光は色紙表面からの反射光として見える。しかし、周囲を暗黒になるとその色紙からの反射光はあたかも光源からの光のように見える。このように、同じ色紙の色の見えが、背景明度によって、表面色モードと光源色モードの間を移り変わる<sup>29</sup>。この現象自体が興味深いが、このモードの移り変わりを利用して、表面色モードと光源色モードの明るさ効率を比較すると、色紙からの反射光の組成が同じであるにもかかわらず、表面色モードのほうが明るさ効率が高い<sup>1,28,a-11</sup>。われわれが知覚する「明るさ」は、単に眼に入射する光のエネルギーのみによって決まるのではなく、見えのモードという色属性によって影響されることが示された。

色の見えは輝度に依存し、色光の「明るさ」と同様、とくに薄明視レベルでの色の見えの変化が注目されている。色票のカラーネーミングを行なうと、青緑の色相において、薄明視レベルで色の見えが青寄りに大きくシフトし、ブルキンエシフトが見られた<sup>2,29</sup>。背景が色の見えに影響を及ぼす現象に「色の目立ち」がある。「色の目立ち」は輝度レベルによって変化するが、それが L\*a\*b\* 均等色空間の修正空間におけるテストと背景の色の位置の間の距離によって説明されうることが示された<sup>a-2</sup>。色の見えに関して、色名による色の区分、すなわち色のカテゴリー化の特徴の分析が試みられた<sup>a-12</sup>。

## 10.2 短波長感度錐体の特性

青錐体（短波長感度錐体）は、緑錐体（中波長感度錐体）および赤錐体（長波長感度錐体）に比べて、空間的分解能が悪いため、小さな視野では、色の見えに対して青錐体の寄与が小さくなると考えられる。小視野では、とくに青系統の色の彩度が低下して見え<sup>1</sup>、「明るさ」と輝度の相違はなくなり<sup>1,28</sup>、色弁別は色度の黄/青方向に悪くなつた<sup>2,29</sup>。色の見えへの青錐体の寄与の低下が確認された。また、色むらの見えを主観評価するとき、青

色の色ずれは目につきにくい<sup>2</sup>。この結果も、青錐体の空間分解能が他の錐体に比べて悪いことを示している。青錐体の時間・空間特性は、まだ十分には明らかにされておらず、今後、空間特性のみでなく、時間特性にも焦点が当てられるであろう。

## 10.3 視覚の時間特性

視覚の時間・空間特性を調べる有力な手法として、2 刺激法がある。これは、微少な時間間隔あるいは空間間隔で呈示された二つの光刺激に対する応答のたし合せの程度から視覚の時間・空間特性を調べる方法である。この手法を適用して、暗順応過程のいろいろなレベルでの視覚系の時間特性が調べられた結果、暗順応の直後では、感度の急激な変化にもかかわらず、視覚系の時間的なたし合せには変化がなく<sup>a-10</sup>、暗順応の進行とともに抑制的たし合せが消失することが明らかになった<sup>a-0</sup>。また、視覚系の色応答同士の時間的たし合せは、2 刺激の色度変化が同じ場合には、1 相性の応答のたし合せで説明できるが、色度変化が反対方向の場合には、1 相性の応答のたし合せでは説明できないこと<sup>1</sup>。一方、輝度応答同士の場合は、2 相性の興奮と抑制型の応答のたし合せで説明できることが示された<sup>2</sup>。時間・空間 2 刺激法は、視覚受容野特性を調べるのも適用された<sup>2,29</sup>。色刺激の時間周波数特性<sup>28</sup>、正弦波状輝度変調格子パターングの検出時間特性<sup>28</sup>や単純反応時間のコントラスト依存性<sup>29</sup>、視覚刺激の大きさと時間特性の関係<sup>28</sup>、光覚の個人差が時間特性に依存すること<sup>29</sup>などが調べられた。また、「明るさ」知覚に関連した Broca-Sulzer 効果が、微分法によって測定された<sup>2</sup>。

昨年度に引き続き、視覚光学分野から「光学論文賞」の授賞があった<sup>a-10</sup>。今後もこの分野から多くの授賞があることを望みたい。紙数の都合により、視覚光学の一部についてしか言及することができなかったことをお断りします。

（九州芸工大 山下由己男）

## 11. 光源・測光・照明

「照明」というと、一般的なイメージとして、電球とか蛍光ランプが思い浮べられると思うが、昨今では、学問分野の多様性を反映していろいろな分野に照明が関係している。また、光バイオなど、ここ数年で発展した学問に関連する新しい照明分野も成長してきている。したがって、境界領域や新分野の研究を從来の照明の分類で選別することには無理があるが、一応ここでは、光源、測光・測色および照明の三つに分類して紹介する。

光源については、最近、液晶ディスプレイの小型テレ

ビやラップトップコンピュータ等が急速に普及してきたに伴い、液晶ディスプレイ用バックライトのシンポジウムが電気関係学会関西支部連合大会で行なわれた。また、ここ数年の遠赤外線ブームを反映し、遠赤外放射源やその測定技術等をテーマとした研究会が多数回行なわれた（照明学会光放射の応用・関連計測研究会など）。

測光・測色の分野では、人間の眼の比視感度に関連して、色の見えとその応用に関するシンポジウムが照明学会全国大会で、また、最近の視環境の評価・計測に関するシンポジウムが照明学会関西支部大会で行なわれた。

照明の分野では、都市環境照明をテーマとした特集や研究会が数多く行なわれた（照明学会光環境研究会など）。また、「美術館・博物館の展示照明」（照明学会光放射の応用・関連計測研究会）というテーマで、美術館・博物館の展示物に対する光放射環境等について検討された。

### 11.1 光 源

ハロゲン電球について、従来のダイクロイックミラーはガラス基板上に誘電体多層膜を蒸着していたが、Al 等の金属基板上に赤外吸収特性に優れた金属酸化膜を蒸着し、さらにその上に誘電体多層膜を蒸着したダイクロイックミラーが開発された（梶山ほか・東芝電材）<sup>30</sup>。

蛍光ランプについては、最近の電球形蛍光ランプは、小型、高出力化に伴い、発熱密度が高くなる傾向にある。これらの蛍光ランプの開発に際しての熱設計に重要な熱解析シミュレーション（石塚ほか・東芝、上田ほか・東芝）<sup>30</sup> や高負荷形蛍光ランプの光束維持率改善のための酸化セリウム保護膜の開発（明星・松下電子）<sup>30</sup> および、偏平断面状の高密度発光形蛍光ランプの提案（伊藤ほか・東芝）<sup>30</sup> があった。また、各社から、インバータを使用した高周波点灯装置について、調光できる電子安定器の開発が報告された（大木ほか・三菱、次田ほか・三菱、垣谷・東芝電材）<sup>30</sup>。

HID ランプについては、点灯用電子安定器について数多くの研究が行なわれ、点灯回路として回路効率、雑音等の点で有利な数十 kHz を用いた回避方式について、安定な周波数成分と不安定を生じさせる高周波の成分の割合に着目し、アーケークの安定条件を求めた研究（永瀬ほか・松下電工）<sup>3-2</sup> と、イグナイタ内蔵型電子安定器について、矩形波点灯方式における無負荷の高圧パルス印加状態での矩形波の周期と始動性を検討した報告（永瀬ほか・松下電工）<sup>30</sup> があった。

その他、数種類の単色光の合成による仮想の線スペクトル照明光で、JIS 等で規定する常用光源が実現できる

可能性について検討された（一条ほか・東芝）<sup>3-2</sup>。

### 11.2 測光・測色

薄明視における色光の明るさを計測する測光器の実現が望まれており、先に佐川・武市が提案した測光モデルの有効性が、複合光 20 色の明るさマッチングデータにより確認され、そのモデルに基づいた薄明視測光装置の開発、特性評価が行なわれた（佐川ほか・製科研）<sup>4</sup>。また、自然環境下での迅速な視感度の測定にラゴリオ色票が有効であることが示された（矢口ほか・千葉大）<sup>3-2</sup>。

測色について、低彩度な部分における測色上の色差と知覚される色差との対応を検討した結果、彩度が無彩色軸に近づくほど、彩度差の知覚量に比べて測色上の色差が相対的に小さくなること（中山ほか・理科大）<sup>30</sup> や、光源色と、物体の表面色を見たときに明るさ効率の違いが存在するかを、色票を使って実験した結果、背景の明度が上がるにつれて、明るさ効率は増大することがわかった（岡嶋ほか・東工大）<sup>30</sup>。その他、照度レベルを広範囲に変化させ、光源の演色性が物体色の明るさ感に与える影響についての検討（湯尻・広島工大）<sup>3-2</sup>、色光の演色性による明るさ感と配色の目立ち感の関係（納谷ほか・大阪電通大）<sup>4</sup> について報告された。

測光については、受光部に CCD を用いた時間サンプリング型分光測定器を使用して、植物の緑葉などの分光反射率特性および分光透過率特性の測定（石井ほか・日大、電気学会全国大会）、集積回路等の薄膜形成に利用される光 CVD に照射光として用いられる 185 nm 放射強度の大気中と真空中での測定（中川ほか・埼玉大）<sup>3-6</sup> が行なわれた。その他、FTIR を用いた遠赤外線分光放射測定法、赤外線放射照度計、水平線近傍の赤外線放射特性、InSb を用いた赤外線 CCD 等、遠赤外放射測定に関する多数の研究発表があった。

Si フォトダイオードの自己校正法による絶対分光応答度の測定技術の成熟に伴い、その測定精度の検討（大野ほか・松下電産）<sup>30</sup> や、これを用いた分光放射照度測定器が製作された（香取ほか・電総研）<sup>30</sup>。

### 11.3 照 明

照明設計のシミュレーションに関する研究も多く、立方体室内空間に間仕切り等を設置した凹面室内空間を対象としたモンテカルロシミュレーション（長田・徳島大）<sup>3-10</sup>、色などの情報を忠実に CRT 上に再現するためのコンピュータグラフィックス（CG）による照明シミュレーションシステム（金子ほか・東芝電材）<sup>3-11</sup>、および、従来の静的な CG による照明シミュレーションに、道路照明のような動的照明環境にも対応できる三次元ア

ニメーション作成機能を追加した、シミュレーションシステム（平田ほか・松下電工）<sup>1-11</sup>、等の報告があった。

従来、オフィス照明においては、視作業性の確保が優先され、霧囲気形成はやや見過ごされる傾向にあった。

しかし、オフィス環境の最適化という見地から考えると霧囲気形成を重視して、全般照明器具を選定する必要があり、その適用区分を明らかにした（田淵ほか・松下電工）<sup>30</sup>。また、いまやオフィスだけでなく、家庭でもVDTを使用するようになり、それに伴い、VDT作業における視覚的問題や照明環境の改善に関する研究が増加している。VDTスクリーン上の輝度分布と瞳孔径の関係およびVDTスクリーンと文書面の輝度比が瞳孔径の変化に及ぼす影響についての検討（窪田ほか・成蹊大）<sup>3-6</sup>や、VDT設置場所の照明環境と眼の疲労について、3種類の視作業を行ない、視作業の違いが眼の疲労に及ぼす影響について検討された（永井ほか・京大）<sup>30</sup>。

適正な街路照明設計の基礎研究として、顔や表情の認識についての研究が行なわれた。顔の認識はさまざまな要因によって変化するが、顔の認識の程度に対応する対象物の大きさが判明すれば、種々の順応状態などに対して、その認識の程度を得るために顔の輝度を輝度差弁別閾から予測できることが明らかになった（宮前ほか・松下電産）<sup>30</sup>。また、実際に、地下街等において、表情の識別実験を行ない、その明るさを半円筒面照度で規定できる可能性について検討された（川上ほか・岩崎）<sup>30</sup>。

（埼玉大工 谷治 環）

## 12. 光学関連の規格

国際的な標準化作業は、会議を含めて多くの分野で進行しているが、最終的な合意を得て正規の文書になるまでに時間がかかる。これらの報告は順次、日本規格協会発行の標準化ジャーナル（以下標準化と略す）に出るが若干遅い。一方、国内では国際的な見地からJIS化を早めたり、国際規格との整合性を図る作業が行なわれている。

これら作業の途中経過は公開される機会が少なく情報が乏しいので、ここでは最終的なJISを中心て展望する。なお標準化の第一歩ともいえる学協会での用語集、テストチャート等についてもふれる。

### 12.1 光学・光学機器

ニュートンゲージのJISが制定された。1985年以来日本光学測定機工業会で光学系の球面精度の基準となる球面ゲージ（「原器」の名称は廃した）の見直し・検討を行なってきたもの。このJISは測定方法が追加され

1989年改正される予定。これまでに同工業会から3点の関連技術資料が刊行されている。また測定方法のうち、真球度の測定に関して松居（キヤノン）が解説している<sup>1-10</sup>。

厚生省の原案作成依頼で日本医用光学工業会が作業をしていた眼科・眼鏡関係の光学器に関する十数点の規格案（日医光規格）が医療安全用具の分野でJIS化された。ISO/DP 8039の顕微鏡の角倍率の用語について三宅が提案をしている<sup>1-3</sup>。佐柳らは異なるメディア間での「画質評価用語」をまとめた（日本オプトロ協会）。

1988年発行されたJIS規格票（制定されながら未発行のJIS規格票も予告的な意味でここに含めた。以下同じ）

- JIS B 7122 ガリレイ双眼鏡（改正、以下（改）と略す）
- JIS B 7134 小形生物顕微鏡（改）
- JIS B 7136 中形生物顕微鏡（改）
- JIS B 7141 顕微鏡対物ねじ（改）
- JIS B 7142 顕微鏡対物レンズ及びレボルバのねじ部（改） 41,42とも ISO 8038-1985と整合を図ったもの（以下対応国際規格を< >で表わす）
- JIS B 7154 地上単眼望遠鏡（改）
- JIS B 7155 天体望遠鏡（改）
- JIS B 7156 射撃照準望遠鏡（改）
- JIS B 7433 ニュートンゲージ（新規制定、以下（新）と略す）
- JIS T 1204 レーザ光凝固装置（新）
- JIS T 1205 超音波眼軸長測定装置（新）
- JIS T 7306 検眼鏡（新）
- JIS T 7307 大型弱視鏡（新）
- JIS T 7308 レフラクターへッド（新）
- JIS T 7309 視力検査装置（新）
- JIS T 7310 チャートプロジェクター（新）
- JIS T 7311 検影器（新）
- JIS T 7312 眼圧計（新）
- JIS T 7313 視力補正用単焦点眼鏡レンズ（新）
- JIS T 7314 視力補正用多焦点眼鏡レンズ（新）
- JIS T 7315 視力補正用累進多焦点眼鏡レンズ（新）
- JIS T 7316 細げき（隙）灯顕微鏡（新）
- JIS T 7317 手術用顕微鏡（新）
- JIS T 7318 オフサルモメータ（新）
- JIS T 7319 レフラクトメータ（新）
- JIS T 7320 眼底カメラ（新）

## 12.2 写真機材・システム・ハードコピー

日本写真学会編の「写真用語辞典」が新版となった。電子写真学会および日本事務機械工業会からカラーテストチャートが発行された。前者テストチャート No. 5 は写真で作られ(電子写真学会誌増刊), 後者 JBMS-20 は印刷で作られたもの(JIS B 9524 となる予定)。

1988 年に発行された JIS 規格票

JIS C 7098 写真一写真撮影用せん光イルミナート—ISO 分光分布指数 (ISO/SDI) の求め方 (新) <ISO 3028-1984>

JIS B 7186 マイクロフィルムリーダ (改)  
<ISO/DP 7565 および ISO/DP 6195>  
鳥海(ミノルタ)の解説がある<sup>m-10</sup>.

JIS B 9601 印刷機械の試験方法通則 (新)

JIS B 9602 製版カメラの試験方法通則 (新)

JIS K 7619 写真フィルムのカールの測定方法 (新)

JIS K 7620 写真一写真フィルム及び印画紙の寸法変化特性の測定方法 (新) <ISO 6221-1980>

JIS K 7651 写真一濃度測定—第1部：用語、記号及び表記方法 (新) <ISO 5/1-1984>

JIS K 7653 写真一濃度測定—第3部：分光条件 (新) <ISO 5/3-1984>

## 12.3 映画・映像

ISO/TC 36：映画(および TC 42：写真)の規格の動きを佐々木(映機工)が報告している<sup>v-3,v-9</sup>.

1988 年に発行された JIS 規格票

JIS B 7160 オーバーヘッド映写機 (新)

## 12.4 テレビジョン系

HDTV の方式と規格を三橋(NHK)が解説<sup>v-7</sup>, 村上(KDD)・関(フジ)が報告している<sup>v-1,v-7</sup>. テレビ電話, テレビ会議の標準化動向を山下ら, 松本, 大久保(いずれも NTT)が報告した<sup>v-9,v-11</sup>. テレビジョン学会ではハイビジョン用テストチャートを発売した。

1988 年に発行された JIS 規格票

JIS C 5581 VHS 方式 12.65 mm (0.5 in) 磁気テープヘリカル走査ビデオ カセットシステム (新)

JIS C 5582 ベータフォーマット方式 12.65 mm (0.5 in) 磁気テープヘリカル走査ビデ

, オカセットシステム (新)

JIS C 5590 テレビジョン受像機とディジタル周辺機器との相互接続 (8 ピンコネクタ)  
(新)

JIS C 5591 テレビジョン受像機とアナログ周辺機器との相互接続 (21 ピンコネクタ)(新)

## 12.5 光エレクトロニクス

光産業振興協会では光産業技術標準化シンポジウムを行ない内外から 11 件の報告があった(武市)<sup>31</sup>. 同協会では「JIS 化に関する調査研究Ⅱ」「光 LAN」「光ディスクⅢ」の標準化に関する報告書を刊行した.

1988 年発行された JIS 規格票

JIS C 4525 光電スイッチ (新)

JIS C 5920 光減衰器通則 (新)

JIS C 5930 光スイッチ通則 (新)

JIS C 5931 光スイッチ試験方法 (新)

JIS C 5990 光伝送用フォトダイオード通則 (新)

JIS C 5991 光伝送用フォトダイオード試験方法 (新)

JIS C 6801 レーザ安全用語 (新) 稲垣(富士通)  
の解説がある<sup>m-10</sup>.

JIS C 6802 レーザ製品の放射安全規格 (新)

JIS C 7071 液晶表示パネル通則 (新)

JIS C 7072 液晶表示パネルの測定方法 (新)

## 12.6 照明・色

CIE ベニス大会(1987 年)から佐川(製科研)が視覚と色, 栗岡(近畿大)らが光と放射の物理測定について報告している<sup>s-1</sup>.

1988 年に発行された JIS 規格票

JIS C 1612 放射温度計の性能表示方法通則 (新)

JIS Z 8113 照明用語 (改) <IEC/CIE 50(45)>

JIS Z 8723 表面色の視感比較法 (改)

## 12.7 光学素子加工・測定方法・その他

日本オプトロ協会で「光学部品加工用語」を改訂した. 前述のニュートンゲージの用語等との整合が図られた.

1988 年に発行された JIS 規格票

JIS R 6001 研磨材の粒度 (改)

JIS R 6002 研磨材の粒度の試験方法 (改)

(オプトメカトロニクス協会 関根靖雄)

## 日本人による光学原著論文の統計

(1987年10月～1988年9月)

文献抄録委員長 小松進一\*

「光学論文賞」受賞候補者リスト作成の基礎資料を提供する目的で、今年も文献抄録委員諸氏の協力を得て光学関係の原著論文の調査を行なった。昨年度から調査対象が表1に掲げた4誌に絞られたため、光学界全体の動向を把握するのに必ずしも十分とはいえない面もあるが、これらの雑誌が原著論文の投稿者にとってどのような役割を果たしているのかを知ることも有益であると考え、引き続き集計結果を記録にとどめることにした。

4誌の光学論文総数は156編と昨年度に比べてやや減少している(これには締切時期の都合で、調査できた号数がJJAP 2号分だけ少なかったことも影響している)。それでも昨年度(114編)から比べると引き続き高い水準にあるといえる。

研究分野別の内訳については、レーザー(30編)が例年のように多いがオプトエレクトロニクス・光デバイス(19編)とともに昨年度より下回った(昨年度はそれぞ

れ46および39編)。光応用計測(22編)、光物理(22編)、画像表示(17編)、結像素子・光学器械(16編)、分光(16編)なども多かった。とくに伸びが大きかったのは画像表示(昨年度比55%増)と光物理(同38%増)であり、後者についてはフォトルミネッセンス、吸収特性などの光物性関連の研究が目立った。なお、本誌「光学」と「Jpn. J. Appl. Phys.」および「Appl. Opt.」の分野別論文数の比較などについては昨年度に行なったので、興味のある方はそちらを参照していただきたい(光学, 17, No. 3 (1988) 21-22)。

今回はとくに、4誌の光学原著論文の日本人著者(ファーストオーラー)に関する統計をまとめてみた。図1は著者年齢の分布であり、横軸は学部卒業後の経過年数にとってある。不明者等を除いた延べ総数142名の平均は14.3年(標準偏差9.0年)であった。20代と30～40代を中心をもつ二つの山があることがわかり、はじめの山はさらに二つのピークからなっているように見える。最初のピークはおそらく大学院修士課程の学生の研究が中心になっているものと思われる。その後のピークは、博士課程の学生の研究や、研究所・企業に就職して最初に手掛けた仕事によるものであろう。また、30代から40代にまたがる幅の広い山は、自立した働き盛りの研究者によるものと考えられる。この辺の事情は大学、研究所および企業の別、また個人によってさまざまであ

表1 調査対象学術誌と光学原著論文数

学術誌名	論文数(括弧内は昨年度)
光学	22(26)
応用物理	9(10)
Jpn. J. Appl. Phys.	65(83)
Jpn. J. Appl. Phys. Lett.	60(77)
合計	156(196)

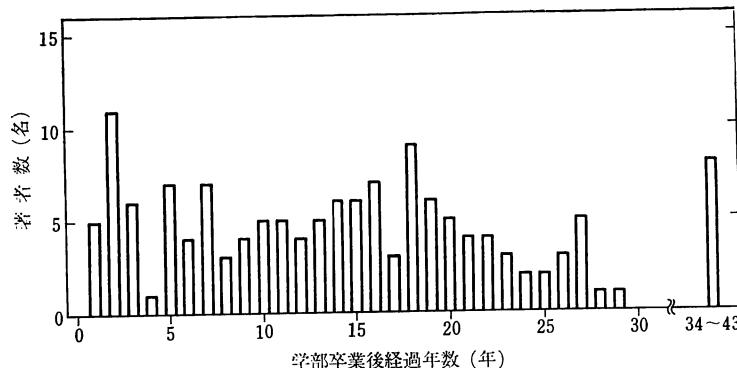


図1 著者年齢分布(ファーストオーラーのみ、1988年卒をゼロ年としている。)

ろう。しかし、論文を書くための必要性と力を備えた年齢層というものがどうやら存在するようでもあり、論文執筆の勧誘などの際には、このような点も少し考慮してみるのも有効かもしれない。ちなみに著者平均年齢の若い順に 4 誌を並べると、「応用物理」12.5 年（標準偏差 7.3 年；8 名）、「JJAP Part 2」13.3 年（同 10.0 年；54 名）、「JJAP Part 1」14.8 年（同 8.0 年；61 名）、「光学」16.6 年（同 9.7 年；19 名）の順であった。

海外の雑誌などについては調査をしていないが、全体の傾向は似ているのではないかと思われる。もっとも、細部のピーク位置は若干ずれたり、上の結果と相補的な

関係をもっている可能性もある。

またファーストオーラーのうち、光学懇話会に所属しているのが確かな人は延べ 22 名、応用物理学会の場合は同じく 110 名であった（応用物理学会名簿その他による）。

本年から光学懇話会は日本光学会と名称を変えて、新たなスタートをきることになった。今まで以上に広い分野の人々が日本光学会に参加し、機関誌「光学」がさらに充実することが期待される。この統計がそのための基礎資料として何がしかのお役に立てば幸いである。