

Treasure Microbox of Optoelectronics Ⅲ

光エレクトロニクスの 玉手箱 Ⅲ

伊賀健一・波多腰玄一

試し読み



Advanced Communication Media
アドコム・メディア株式会社

目 次

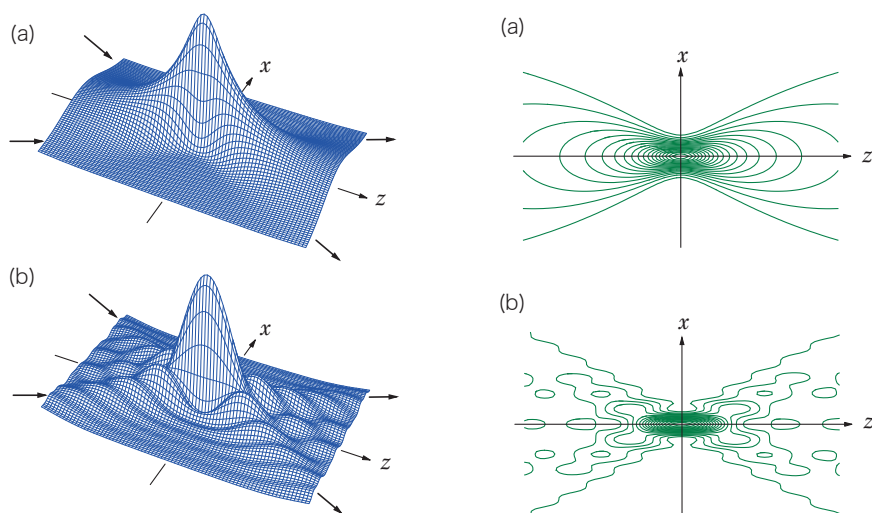
光エレクトロニクスの玉手箱 III

目 次

まえがき	i	3. 半導体レーザーと光ファイバーの結合	39
目次	ii	4. むすび	41
		付録 AP1 光導波路端面の反射率と透過率	43
第 35 章 多彩な役目の微小光学 (その 1)	1		
1. 多彩な役目の微小光学という概念	1	コラム A: 伝搬モードの非可逆性	35
2. 光の回折と集光	1	コラム B: 集光の光線描像のパラドックス	42
3. 光線表示と光線追跡法	4		
4. 位相空間表示	4	第 38 章 多彩な役目の微小光学 (その 4)	45
5. 整合	6	1. いろいろな光回路の形式と機能の概念	45
6. 変換	7	2. 回折と集光デバイス	46
7. 分岐と合流	8	3. 光の結合系	51
8. 伝搬の方向性付与	9	4. 干渉を用いるコンポーネント	53
9. 反射と無反射	9	5. 分波と合波	55
10. 減衰と増幅	13	6. 伝搬の方向性付与	56
11. むすび	13	7. 減衰と増幅/光スイッチング/光変調器	57
付録 AP1 フェルマーの原理とラグランジアン	14	8. 光波長多重方式用の光回路	61
付録 AP2 半透鏡における反射波と透過波の 位相ずれ	15	9. むすび	61
		コラム A: ナイフエッジ法	47
コラム A: 位相空間とウィグナー分布関数	7	コラム B: ルネブルクレンス余話: Burg と Berg	48
コラム B: 損失なしに光を合流できるか?	8	コラム C: meter と mator	53
コラム C: ハーフミラーにおける位相ずれ	12	コラム D: AWG 研究の事始め	56
		コラム E: 光変調器の学生実験	60
第 36 章 多彩な役目の微小光学 (その 2)	17	コラム F: 微小光学の用語	63
1. 光の結合とは	17	第 39 章 光のキャッチャー: 受光デバイス (その 1)	64
2. 方向性結合器におけるモード間干渉	18	1. 受光デバイスとは	64
3. 結合モード理論	23	2. 外部光電効果を用いる受光デバイス	65
4. 結合モード理論とモード間干渉の比較	28	3. 内部光電効果を用いる受光デバイス	68
5. その他の方向性結合解析と結合係数の推定	30	4. むすび	72
6. むすび	30	付録 AP1 発光デバイスと受光デバイスに 用いられる元素	74
		付録 AP2 受光デバイスの回路図記号	75
コラム A: 結合するモードは固有モードか?	28		
コラム B: 光導波路 II のモードは どうやって決まるのか?	29	コラム A: ニュートリノはどのように 観測されるの?	67
コラム C: 小振幅から大振幅へなぜ?	31	コラム B: 重力波はどのように 観測されるの?	69
第 37 章 多彩な役目の微小光学 (その 3)	32		
1. 縦方向結合	32		
2. 結合すべきデバイス間に空間がある場合の 縦結合	35		



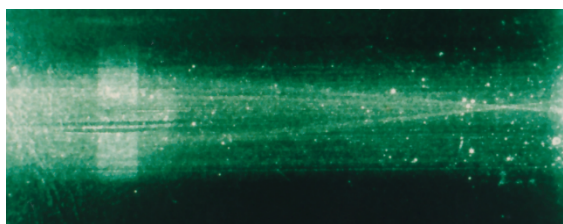
第42章 図13 東工大グリーンヒルズ棟の太陽電池 (本文 p. 123)



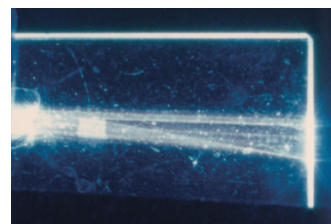
第37章 図B3, B4 レンズで集光された光の焦点付近における強度分布およびその等高線 (本文 p. 42)

(a) ガウスビーム ((x, z) の2次元)

(b) 1次元開口で制限された平面波の集光



(左) 第38章 図11 光導波路回折格子レンズにおける集光の様子 (本文 p. 50)



(右) 第8章 図9 光導波路回折格子レンズ (『光エレクトロニクスの玉手箱 I』 p. 113)

第 43 章 付録 AP2 立体視画像 (本文 p. 139)

〈立体視の見方〉

図に眼を近づけ、右の眼で右の図を、左の眼で左の図を見る。眼のピントが合ったら、できるだけ遠方を見る感じで無心になるように。

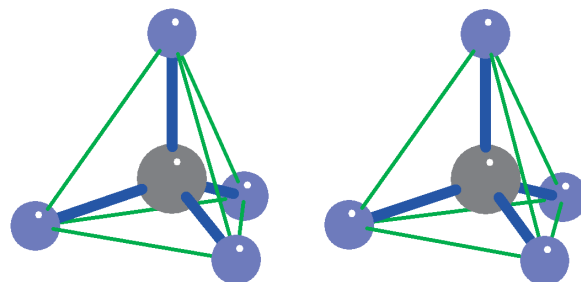


図 2 炭化水素のうち簡単なメタン分子

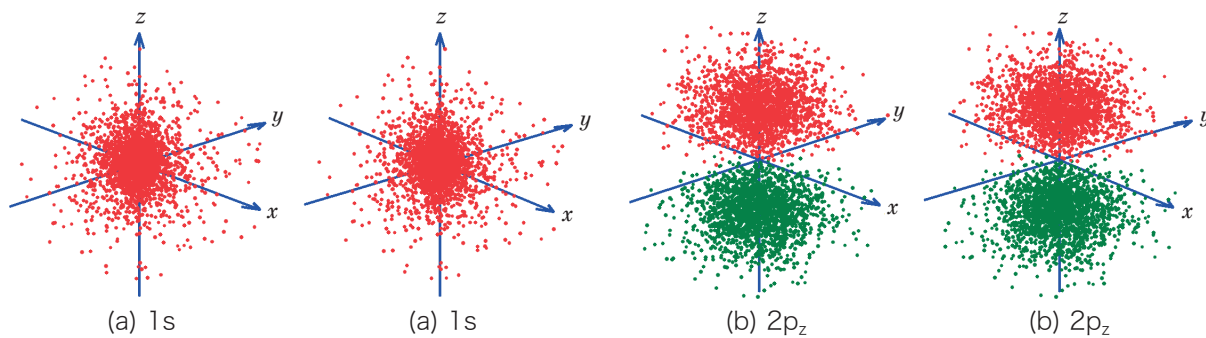


図 3 水素原子における電子の存在確率分布

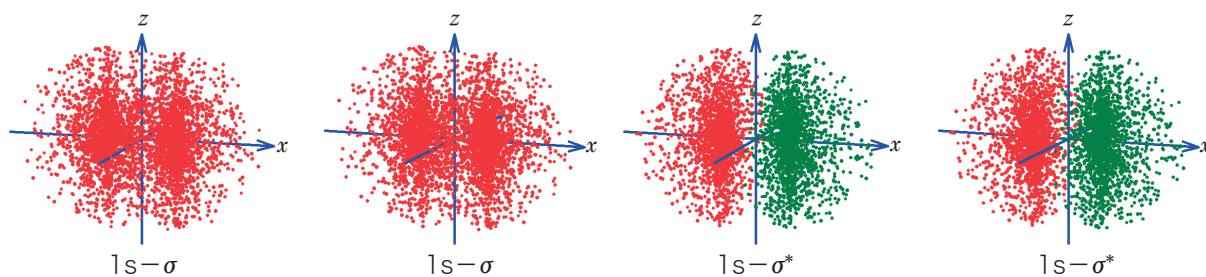


図 5 水素分子の軌道

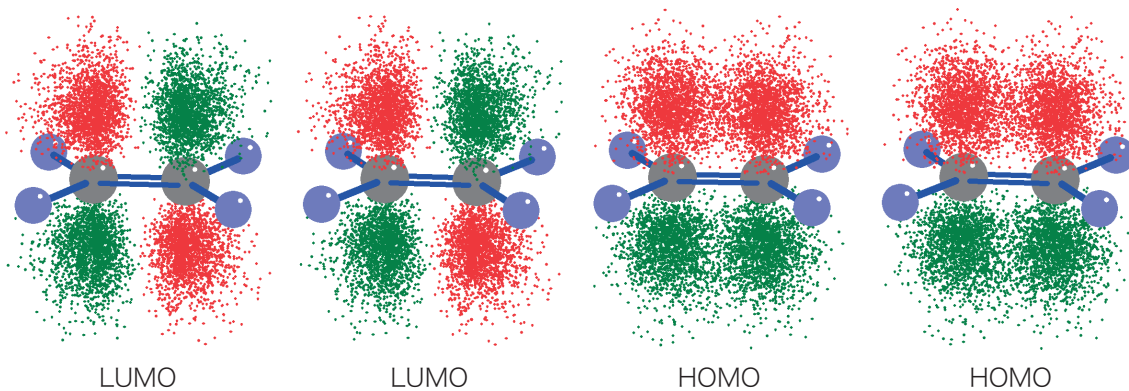


図 8 エチレンの LUMO (π^* 軌道) と HOMO (π 軌道) の波動関数

まえがき

本書は、アドコム・メディア社から出版されている O plus E 誌における連載「光エレクトロニクスの玉手箱」を書籍化した第Ⅲ巻である。

第Ⅲ巻では、主として光のサブシステムから色々な光エレクトロニクスのシステムを紹介する。第 35 章から第 38 章は「微小光学」で、光のサブシステムを扱ったものである。単に部品を紹介するにとどまらず、光をどのように損失なく制御するかの原理を見ていく。それこそ多彩な役目の小さな光学「微小光学」である。第 39 章から第 40 章は「受光デバイス」で、光の受け手キャッチャーを扱う。レーザーや LED がピッチャーならば、受光デバイスはキャッチャーであり、バッテリーを組む重要な役割を担う。波長域と材料、受信速度、雑音などがキーとなる。第 41 章から第 42 章は「太陽電池」、英語では battery で、先に述べた野球におけるバッテリーと同じ語源をもつ。つまり、ラテン語の battuere (打ち出すもの) から来ており、大砲の弾や電気を放出するところが共通の意味らしい。太陽からの光エネルギーを受け取り、電気を発するのである。つまり、受動的なデバイスではなく、エネルギーの宝庫である太陽からの使者と言ってもよい。第 43 章から第 46 章の 4 つの章を「有機」に当てた。有機物とは炭素化合物の総称である。もともと、熱や紫外線に弱くてエレクトロニクスの材料には向いていなかった。ところが、液晶や有機 EL がディスプレイに使われるようになってその考えが覆った。そこで、有機化学の基礎をシュレーディンガー方程式に立ち返って学びながら、これらの章をまとめてみたものである。“光に勇気を”との意味合いもある。第 47 章から第 49 章は「光通信システム」で第Ⅲ巻を締めくくる。1960 年のレーザー登場以来、通信に革命をもたらした技術であり、現在もなお進歩し続けている。インターネットやデータセンターなどのインフラを支え、情報化社会をもたらした。

本書の第Ⅰ巻は基礎で、お読みいただいた方々から、もう一度学びなおすのに便利だという評価も頂戴した。第Ⅱ巻はデバイスが中心で、第Ⅲ巻はこれに次ぐサブシステムである。なお、全巻の総目次を併せて本巻末にも掲載した。2019 年末に、第Ⅳ巻の上梓を計画しているので、ご期待願いたい。

本書の読者としては、光エレクトロニクス、光学、電子工学等の研究者、教職員の方々、学生諸君など、広きに渡っている。特に、これから新しく光エレクトロニクスの分野に入ってくる人々への教科書、参考書として、第Ⅰ、Ⅱ巻と共に役に立てば幸いである。

伊 賀 健 一
波 多 腰 玄 一
2019 年 5 月 吉日

本書では紹介できなかった「カラーの図表や動画」などを下記の web にてご紹介しています。

<https://www.adcom-media.co.jp/opluse/tmo/>

光エレクトロニクスの玉手箱

Treasure Microbox of Optoelectronics
Kenichi Iga, Genichi Hatakoshi

伊賀 健一
波多腰 玄一

第 35 章 多彩な役目の微小光学（その 1）

Q（編集子）：光ファイバーの基礎から応用に関して、第 34 章までの 5 回にわたって連載いただきました。

A（伊賀）：光伝送システムにおける光ファイバーについては少し希薄な感じがしたのですが、それは光通信システムのところで見ていきましょう。

C（波多腰）：光通信システムを構成するには、半導体レーザーと光ファイバーだけでは無理なので、これらをつなぐものがが必要です。

Q（編集子）：直接貼り付けてはダメなのでしょうか？

A（波多腰）：大胆な考えですね。バットジョイントという方法もあるのですが、半導体レーザーの反射面は何かに触れると性能が大きく変わってしまいます。

Q（編集子）：ではどうすればよいのでしょうか？

A（伊賀）：そこで、微小光学の登場となるわけです。

Q（編集子）：どのようなものが出てくるかを期待しましょう。

A（波多腰）：ただ単にレーザーと光ファイバーをつなぐだけではなしに、いろいろな機能を取り込まないとシステムが成り立ちません。それらを含めてまとめていきましょう。

例えば光通信では、光源である半導体レーザーと光ファイバーなどのコンポーネントを直接接合することが難しい。材料が異なること、接合することによってレーザー動作に影響が出ること、反射を除く集積型光アイソ

レーターが必要なことなどがその理由である。このためレーザーからの光をいったん空間にビームとして放射して光回路や光ファイバーに結合することになる。これは発振器を外部からの影響から隔離するバッファあるいはインピーダンス変換器として働く。

そこで本章では、つなぎに加えいろいろな機能を付与する役目について見てみることにする。次章以降で、光ファイバー通信に用いられる光回路や光部品について紹介する。光源と光ファイバーの結合法、種々の光回路素子、光アイソレータなど、地味ではあるが光通信システムには欠かせない技術やコンポーネントである。

1. 多彩な役目の微小光学という概念

光ファイバー通信の主役である光ファイバーとレーザーを結ぶ“つなぎと機能を付与する役目の小さな光学”について紹介する。これを広い意味で微小光学（microoptics）素子と呼ぼう。

光通信システムには、いろいろな機能を体系化しておく必要があるので、表 1 に分類してみた。以下では、これらのことについてやや詳しく見ていこう。

2. 光の回折と集光

(1) 光の回折とホイヘンスの原理

第 6 章～8 章において、光の回折について述べた。

光エレクトロニクスの玉手箱

Treasure Microbox of Optoelectronics
Kenichi Iga, Genichi Hatakoshi

伊賀 健一
波多腰 玄一

第 39 章 光のキャッチャー：受光デバイス (その 1)

Q (編集子)：これまでの 4 章では、微小光学について学びました。今回からはどのように？

A (伊賀)：久しぶりに半導体デバイスに戻ってみようかと。

A (波多腰)：半導体の基礎に始まり、半導体レーザーや LED などの発光デバイスについては多くの章を割いて詳しく述べてきました。もう一つの重要なものに光を受けるためのデバイスとして光検出器あるいはフォトディテクターがあります。総じて、受光デバイスと呼んでおきます。

A (伊賀)：レーザーや LED が光のピッチャーだとすると、さしずめ光検出器はキャッチャーでしょうね。太陽電池 (solar cell) も受光デバイスには違いないのですが、光にのせた信号を受けるといより、太陽エネルギーを電気に変える変換器の役割なので、別の章で記述しようと考えています。

Q (編集子)：なるほど。光を受けるだけなので、レーザーなどより易しそうですが。

A (波多腰)：ところがそうはいかなくて、高い受光効率やノイズ(雑音)の問題、結晶性の良さなど製造に関する難しさなどもあってあなどれません。

本章では、光ファイバー通信、光メモリー、光センサーなどに用いられる受光デバイスについて見ていこう。い

ずれの応用においても、送られてきた光を元の電気信号に返すのが受光デバイスである。受光デバイスでは、光から得られた電気信号とともにノイズが生じ、信号の検出できる光の量や伝送帯域に大きく影響する。光受信器は、光増幅器や等価器からなるシステムであるが、受光デバイスが重要なポイントになる。本章は、その第 1 回として、受光デバイスの基礎、光電管系の受光デバイスについて概観する。

1. 受光デバイスとは

半導体レーザーや LED に代表される発光デバイスは電気エネルギーを光エネルギーに変換するデバイスであるが、その逆すなわち光エネルギーを電気エネルギーに変換するデバイスが受光デバイス (photo-detecting device) あるいは光検出器である^{1)~4)}。光→電気の変換はいわゆる光電変換 (OE conversion) で、物質のいろいろな光電効果を利用する。

光電力を電気信号の電圧に変えるような光検波を、光の振幅の絶対値 2 乗を検波するので 2 乗検波という。復調すべき電気信号の大きさが光電力に比例する。

これに対し、ヘテロダインやホモダイン方式のように受信側にもレーザーを設けて、信号光の位相と干渉させて利用する方式では光電界に比例した電圧が得られる。

光受信装置における光信号を電気信号に変える受光デ

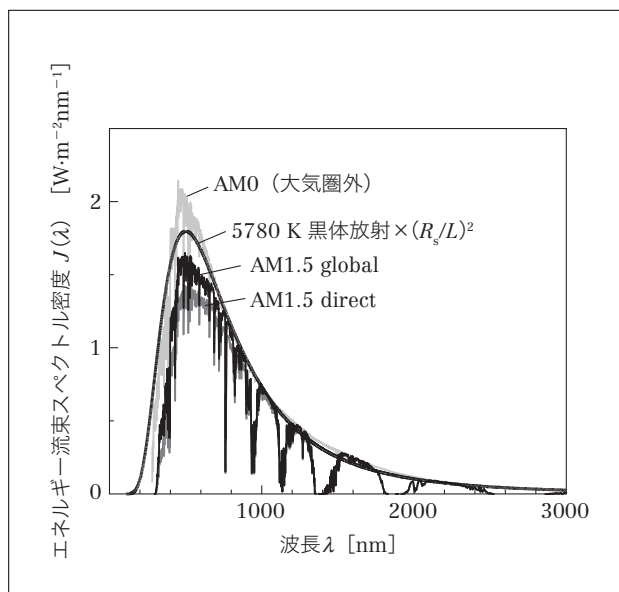


図5 AM0, AM1.5 global, AM1.5 direct のエネルギー流束スペクトル密度

ある。1.5 I_0 の大気を通して減衰を受けているので、当然のことながらこの 1 kW/m² は式(9)より小さい。

図5に AM0, AM1.5 global, AM1.5 direct のエネルギー流束スペクトル密度を示す。同じ図に 5780 K の黒体放射スペクトル $\times (R_s/L)^2$ の値 (式(10c) $\times (R_s/L)^2$, 太陽光放射が完全な黒体放射であれば AM0 に相当する値) を示してある。

(5) 地球の温度

地球を温度 T_E の黒体と仮定してみよう。理想黒体は入射するすべての放射を完全に吸収する。いま大気による吸収は考えないものとする、太陽から放射されるエネルギー流束密度の地球上での値 J_E は式(4)で与えられる。したがって地球全体が受け取る放射の電力 P_{in} は次式となる。

$$P_{in} = \pi R_E^2 J_E = \frac{1}{4} \left(\frac{R_E}{L} \right)^2 \Phi_s = \pi \left(\frac{R_s R_E}{L} \right)^2 \sigma_B T_s^4 \quad (13)$$

式(13)は地球を半径 R_E の円盤として計算してあるが、球として入射角依存性を入れた式で扱っても実はまったく同じ結果になる。

一方、温度 T_E の黒体から放射されるエネルギー流束密度は、式(2)で T_s を T_E に変えたものである。したが

コラム B

AM と PM



Q (伊賀)： PM2.5 という言葉もよく聞きますが？



A (波多腰)： あれは particulate matter (PM) で、やはり空気の状態を示しています。

Q (伊賀)： AMPM というのは偶然ですかね。

って地球が放射する全電力 P_{out} は式(4)を参照すると

$$P_{out} = 4\pi R_E^2 \sigma_B T_E^4 \quad (14)$$

$P_{in} = P_{out}$ なので、式(13), (14)より

$$T_E = \sqrt{\frac{R_s}{2L}} T_s \quad (15)$$

という極めて簡単な式が得られる。表1の値および式(7)を用いて式(15)を計算してみると

$$T_E \cong 279 \text{ K} = 6^\circ\text{C} \quad (16)$$

が得られる。地球の平均気温⁺¹ は約 14°C という数値例もあり、式(16)はそれに比べてわずかに低いだけでよく一致しているように見える。しかし実はこの一致は偶然であって、地球の温度はこのような簡単な現象で決まっているわけではない。実際には、もう少し複雑な過程で決まっているようだ⁵⁾。

3. 放射エネルギー密度と立体角当たりのエネルギー

(1) 単位立体角当たりのエネルギー流束密度

後の節で、立体角と放射エネルギー密度の関係が出てくるので、ここで簡単に考察しておく。太陽からの放射

⁺¹ 地球あるいは世界の“平均気温”という言葉はあまり意味がないとされている。気象庁のホームページ⁴⁾によると、世界全体の平均気温などは、正確な見積もりが困難であることと、正確な値が求まったとしても、気候変動を監視する上ではその数値そのものにはあまり意味がないことから算出を行っていないとのことである。しかし、平均からの偏差は意味があり算出も可能なので、平均気温の基準値からの偏差はデータ (1981 年～2015 年) として公表されている。

http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/list/an_wld.html

光エレクトロニクスの玉手箱

Treasure Microbox of Optoelectronics
Kenichi Iga, Genichi Hatakoshi

伊賀 健一
波多腰 玄一

第 43 章 光に有機を (その 1)

Q (編集子) : 本章から新しいテーマになりますね。初めて『光にユウキを』と伺ったとき、『光に勇気を』か？と思いました。

A (伊賀) : その願いもありますね。

C (波多腰) : 光エレクトロニクスの分野にも有機材料がどんどん導入されてきていますし。

A (伊賀) : 古くからの代表的なデバイスは液晶表示素子でしょうね。

C (波多腰) : 最近では、発光材料、発光デバイスにも広がりを見せています。

C (伊賀) : 我々は有機化学の研究を行った経験がないので、ちょっとおぼつかないところもあります。

C (波多腰) : そこで使われる用語からして、例えば、ルモドとかホモドとか、半導体物理や光デバイスの分野とはまるで異なるので戸惑いました。

C (伊賀) : というわけなので、内容としては、これまでの有機化学者、有機デバイス工学の研究者の成果を勉強し、光エレクトロニクスの用語と対比しながら見ていくことにしました。

そこで、有機材料を用いる光エレクトロニクスのデバイスやシステムについて見ていくことにする。本章では基礎を、次章で応用デバイスとシステムについて紹介する。有機半導体に関する九州大学・筒井哲夫名誉教授の詳しいレビュー論文¹⁾があり参考にさせていただいた。付録として、最低限必要な有機化学の用語集を掲載した。

1. 有機化合物とは

これまでの章では、主に無機化合物 (inorganic compound) で構成される材料やデバイスについて取り扱ってきた。改めて、無機化合物とは何かを調べると、「有機化合物以外の化合物」と理化学辞典で定義されている。では、その対比線上にある有機化合物 (organic compound) とは、何であろうか？ 同じく理化学辞典によると、流石に「無機化合物以外の化合物」とは書いてなくて、要点 1 のように記されている。

要点 1 有機化合物 (organic compound) とは

炭素化合物の総称。

ただし、炭素の酸化物や金属の炭酸塩など小数の簡単なものを除く、とある。この有機化合物から除く例外的なものにしても、一定していないそうである。

図 1 に、スマートフォンのディスプレイに応用された有機 EL (electroluminescence) の小型パネルを示す。すでに、広く応用分野が広がっている。

さて、有機化合物の単位となる炭素化合物には、

- ・鎖式化合物 (chain compound) :
線上の原子配列をもつ化合物の一群。
- ・環式化合物 (cyclic compound)
環状の原子配列をもつ化合物の一群。

索引

PMT (photomultiplier tube) 66
 pn 接合 69, 81, 99, 118
 p 軌道 130, 154
 pin フォトダイオード 69, 81
 pn 接合太陽電池 118
 pn フォトダイオード 69, 78
 PPM (pulse-position modulation) 186
 p^+pn^+ 太陽電池 119
 PPP 170
 PPV 169
 PtOEP 156
 PWM (pulse width modulation) 118
 R2R (roll to roll) 173
 RGB 157, 174
 RIPS (research information processing system) 199
 s 軌道 130, 150, 154
 SAW (surface acoustic wave) 60
 SCM (subcarrier multiplexing) 186
 SDM (space division multiplexing) 189
 σ 軌道, σ^* 軌道 129
 SiO_2 10, 46
 S/N (signal-to-noise) 比 82, 183
 SOA (semiconductor optical amplifier) 58, 210
 TADF (thermally assisted delayed fluorescence) 145, 157, 166
 TDFA (thulium-doped fibre amplifiers) 210
 TDM (time division multiplexing) 188
 TE (transverse electric) モード 189
 TiO_2 131, 173
 TM (transverse magnetic) モード 23, 189
 TO (thermo-optic) 効果 59
 TPC-4 (Trans Pacific Cable 4) 198
 TWA (traveling wave amplifier) 210
 VCSEL (vertical cavity surface emitting laser) 10, 200, 214
 WDM (wavelength division multiplexing) 61, 189, 212
 Wi-Fi 196

あ 行

アインシュタインの A 係数, B 係数 106, 134
 アインシュタインの関係式 90
 アヴァランシェフォトダイオード 71, 83
 アヴァランシェ利得 86
 アヴォガドロ定数 134
 アナログ伝送 186
 アノード 70
 アモルファス Si 121
 誤り率 183
 アレイ導波路回折格子 56
 アレイレーザー 18, 201
 暗電流 82, 183
 アントラセン 156
 イーサネット 211
 イオン化されたアクセプター密度 77
 イオン化されたドナー密度 77
 イオン化率 84
 移相 8
 位相空間 4
 位相板 8
 位相変換 8
 位相変調 180
 1 重項 132, 141, 156, 166
 移動度 78
 イリジウム錯体 156
 インターネット 60, 180, 194, 213
 インパルス応答 4
 インピーダンス整合 6
 インピーダンス整合因子 104, 113
 インピーダンス不整合因子 37
 インプリント法 168
 ウィグナー分布関数 7
 ウィスバリングギャラリーモード 169
 エアリーパターン 3
 液晶 128
 エチレン 131, 143, 154
 エネルギー移動 147
 エネルギー固有状態 130
 エネルギー準位 130, 142, 167
 エネルギー流束密度 96
 エミッター 71, 87

エルビウム 205
 エルビウム添加光ファイバー増幅器 58, 207

円形開口 3
 遠端反射 13
 円筒座標 2
 エントロピー 98
 オイラーの方程式 14
 オイラー - ラグランジェ方程式 14
 音響光学効果 60

か 行

カーシャの法則 134
 開口数 4
 回折 1, 46
 回折格子 2, 190
 回折格子レンズ 50
 解像度 4
 階段屈折率光ファイバー 5, 185
 海底ケーブル, 海底光ケーブル 180, 194, 205
 海底伝送 197
 外部光電効果 65
 外部変調 59, 181
 開放電圧 79, 102, 126
 ガウス像面 4
 ガウスビーム 2, 35
 拡散電流 90
 化合物半導体太陽電池 121
 重なり積分 33
 可視光 65
 過剰ノイズ指数 84
 画像増強管 65
 カソード 70
 カットオフ 185
 価電子帯 78
 カミオカンデ 67
 カルバゾール誘導体 157
 感光体 128
 環式化合物 127
 干渉 2
 干渉系 53
 干渉計 53
 間接遷移 77, 114, 135, 172
 擬似ソリトン伝送 190, 212

あ と が き

連載「光エレクトロニクスの玉手箱」は、O plus E 誌において光エレクトロニクスに関して、専門書や教科書とは趣の異なる内容とタイトルにして眺めてみた読み物であった。

第 35 章から第 38 章は「微小光学」で、光のサブシステムを扱ったものである。その役目の一つは「整合」である。屈折率、モード、偏波などを接続部などで整合させるもの、その役目を担うのが、微小光学である。これには、光導波路を基本とする光集積回路を含む。もう一つの機能は「干渉」で、古くは光学における干渉計から発し、光通信システムにおいては、分波器など波長多重化において重要な可能性を与えるものであった。

第 39 章から第 40 章は「受光デバイス」で、光の受け手となるデバイスについてまとめた。そこでは、光にのせられた信号をキャッチする重要な機能をもつことを示した。デバイスは可視から赤外にわたる波長域とそれに対応する材料、受信速度、雑音などについて紹介した。

第 41 章から第 42 章は「太陽電池」で、まず太陽光を電気に変換する効率の本質的な限界について議論した。これについては、1961 年に発表されたショックレー - クワイサーの限界が知られているが、現在使われている半導体材料の情報を取り入れた表現を作り比較を行った。また、いろいろな材料の太陽電池、応用システムについても紹介した。

第 43 章から第 46 章は、「有機物」を使う光エレクトロニクスに当てた。もちろん有機材料はパッケージや絶縁物としてエレクトロニクスに多く使われてきたが、今では液晶や有機 EL がディスプレイの分野で大きな産業となっている。これらの章では、有機化学の基礎をシュレーディンガー方程式に立ち返って学びながらまとめてみた。有機 EL などの応用分野にも触れた。

第 47 章から第 49 章は「光通信システム」で、インターネットやデータセンターなどのインフラを支え情報化社会をもたらし、光エレクトロニクスの中核をなしていることを示した。光のシステムに入りながら第Ⅲ巻を締めくくった。

また、この連載のきっかけは、元東芝・東海大の後藤顕也さんのご助言によるところが大きい。また、応用物理学会／微小光学研究会メンバーにも多くの示唆をいただいた。ここに深く感謝申し上げる。

伊 賀 健 一
波 多 腰 玄 一
2019 年 5 月吉日

本書では紹介できなかった「カラーの図表や動画」などを下記の web にてご紹介しています。

<https://www.adcom-media.co.jp/opluse/tmo/>

著者紹介

伊賀 健一 (いが けんいち), Kenichi Iga



1959年広島大学附属高等学校卒業。1963年東京工業大学理工学部卒業、1968年同大学院博士課程修了（工学博士）。同年より、東工大精密工学研究所に助手として勤務、1974年助教授、1984年教授に就任。面発光レーザー、微小光学の研究に従事。1979-1980年ベル研究所客員MTS。2001年東工大名誉教授。2001-2007年日本学術振興会理事、2007-2012年東工大・学長。

応用物理学会フェロー / 微小光学研究会代表。電子情報通信学会名誉員・フェロー・会長（2002年度）。レーザー学会フェロー。紫綬褒章、東レ科学賞、市村学術賞（功績賞）、朝日賞、藤原賞、C & C賞など受賞多数。2013年フランクリン賞（ゴールドメダル・パワー賞）、2018年瑞宝重光章。

趣味はコントラバス演奏（町田フィルハーモニー交響楽団所属、町田フィル・バロック合奏団主宰）、2001年から波多腰玄一氏（ピアノ）と“Duo 21”で演奏。

波多腰 玄一 (はたこし げんいち), Genichi Hatakoshi



1968年長野県松本深志高等学校卒業。1974年東京大学工学部卒業。1980年同大学院博士課程修了（工学博士）。同年より、東京芝浦電気（株）総合研究所（現・株）東芝研究開発センター）勤務。光デバイス、光半導体デバイスの研究開発に従事。2003年から2014年まで、東芝リサーチ・コンサルティング（株）フェロー。2006-2009年の間、科学技術振興機構研究開発戦略センターフェロー。2015年より早稲田大学非常勤講師。

日本学術振興会光電相互変換第125委員会名誉委員。ISO/ TC172/ SC9国内対策部会会長。応用物理学会フェロー / 微小光学研究会・運営副委員長。応用物理学会光学論文賞、大河内記念技術賞、文部科学大臣表彰科学技術賞（開発部門）、日本学術振興会・光電相互変換第125委員会功労賞など受賞。志音会オーケストラ所属（ヴァイオリン）。2001年から、ピアノで伊賀健一氏（コントラバス）と“Duo 21”で演奏。

光エレクトロニクスの玉手箱 III Treasure Microbox of Optoelectronics III

2020年4月25日初版発行

著者	伊賀 健一 波多腰 玄一
発行者	喜多野 乃子
発行所	アドコム・メディア株式会社 〒169-0073 東京都新宿区百人町2-21-27 電話 (03)3367-0571(代)

Advanced Communication Media Co. Ltd., Tokyo, Japan, 2020

ISBN 978-4-910636-28-3 C3042 ¥5200E

© Kenichi Iga, Genichi Hatakoshi 2020

印刷/製本 樹ブックフロント

Printed in Japan

・本書に掲載する著作物の複製権・翻訳権・上映権・譲渡権・公衆送信権（送信可能化権を含む）はアドコム・メディアが保有します。

・**JCOPY**＜出版者著作権管理機構 委託出版物＞

本書の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。複製される場合は、そのつど事前に、出版者著作権管理機構（電話 03-5244-5088, FAX 03-5244-5089, E-mail info@jcopy.or.jp）の許諾を得てください。