

Readout

HORIBA Technical Reports

特集 半導体をはかる

January 1991 ■ No.2

“先端技術における光”

Light in Advanced Technologies

佐々木昭夫
Akio SASAKI

(Pages 4-8)

株式会社 堀場製作所

1. はしがき — 光と電子の違い —

光と云う言葉は非常に快い、明るい響きをもっている。しかし、この光は取り扱うのに、なかなか厄介なしろものであり、また色々様相を変えて我々の前に現れる。電気には、プラスとマイナスがあって、電気は必ずプラスからマイナスの方向に流れてくれる。これは、人間にとって電気は非常に制御し易いことを意味する。また電気抵抗は金、銀、銅の $10^{-8} \Omega \text{cm}$ から、パラフィン、石英ガラスの $10^{16} \Omega \text{cm}$ まで 10^{24} 桁の違いの幅をもつ。物理定数の中で、これ程、大きな違いの値をもつものは他にはない。これは、電気の流れの閉じ込めが非常に容易であり、また流れの途中の損失も非常に少なくて済む。さらに流れに伴う運動エネルギー、プラスとマイナスにおけるポテンシャル・エネルギーの差を利用することができる。これは、電気の信号の増大が容易にできることを意味する。この電気信号の増大は非常に大きな意味をもち、このことを可能にした真空管により、電子工学の扉が開かれ、さらに半導体による増幅、すなわちトランジスタが、エレクトロニクスの隆盛をもたらしたと云うことができる。このエレクトロニクスの隆盛が人類社会に、第2の産業革命をもたらしたことを思えば、この電気の特質の意味合いが如何に絶大なものであるかを改めて驚かされる思いがする。

一方、快い響きを与える光には、電気のようなプラスとマイナスがない。電気のプラスの位置とも考えられる発光源から光は四方八方に拡がる。しかも森羅万象の中で最も速く伝わり、障害物があると、またたく間に返って来る。光のもつエネルギー形態も電気と非常に異なる。光子（ホトン）の発生、消滅で、量子化されたエネルギー（プランクの定数×周波数）が発生、消滅する。周波数とエネルギーが余りにも直接的に結びついており、光の信号を増大することは、電子管、トランジスタが電気の信号を増大させたように容易ではない。以上とりまとめたものを図1に示す。

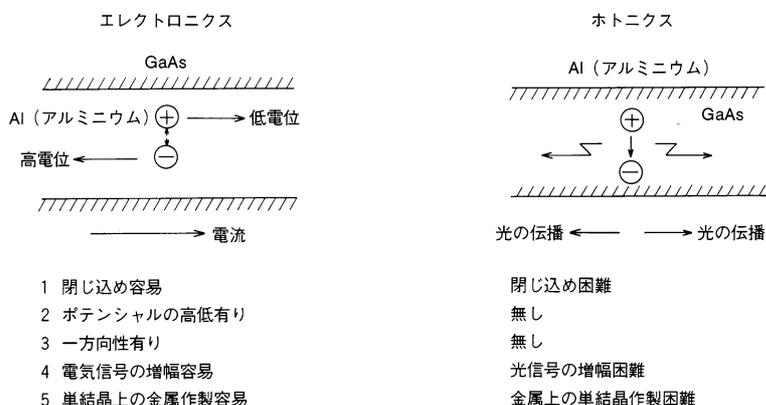
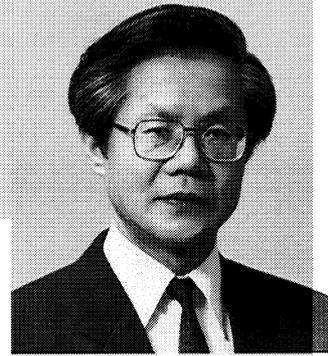


図1 電子と光の物理の違い
Physical difference between electron and photon



京都大学教授

佐々木 昭夫

Akio Sasaki

工学博士 (京都大学)
Ph. D (カリフォルニア大学)

- 〈略歴〉
- 1955年 : 京都大学工学部卒業
 - 1963年 : 米国カリフォルニア大学バークレイ校入学
 - 1966年 : 同上博士課程修了
京都大学助手
 - 1967年 : 京都大学助教授
 - 1977年 : 京都大学教授
 - 1985年 : 英国シェフィールド大学客員上級研究員

- 〈研究業績〉
- 専 門 : 混晶半導体物理, 光電子工学
 - '85~'87 : 文部省科学研究費特定研究「混晶エレクトロニクス」領域代表者
 - '84&'90 : 米国情報表示学会会長表彰 (2回)
 - '87 : 電子情報通信学会業績賞受賞

- 著 書 : 電子物性論, 固体電子工学, 電子ディスプレイデバイス
- 編著書 : 液晶エレクトロニクスの基礎と応用
電子デバイス工学
量子力学の基礎など

2. 電子から光へ

何故、電子から光へ移行し、光を利用しようとしているのか。これは、情報化社会には、電子よりも光を用いる方が有効と云うことに他ならない。情報化社会とは、ゴシップ的な情報が蔓延すると云うことでなく、正しい知識が、できる限り多くの人に、瞬時に伝えられる社会であり、それによって人は間違った判断、間違った行動により、不幸を招かない社会である。知識の大衆化とも云うことができる。大衆化のためには、情報ができる限り安く、そのためには大量に、かつ容易に、速く情報を得ることが大切である。したがって、図2に示すように算盤、手旗信号より、モータで歯車を廻す電気計算機、電信電話へ、さらに電子計算機、マイクロ波通信、光通信へと発展して来た。

ここで、出来る限り速くと云うことを追求して行った結果、情報の処理を電子に頼るようになった。電子は最も軽い質量をもち、そのために慣性が最も小さく、最も速く対応し得るからである。しかし、極限に到達するにつれて、この電子さえも重く感じるようになり、高速情報処理の究極は、電子から光子へ、したがってエレクトロニクスからホトニクスへと云う掛け声が聞かれた。しかし、図1に示すようにエレクトロニクスとホトニクスの成り立つ物理的基盤の違いが余りにも大きい。簡単には移って行けない。新しい物理学の創造が必要である。

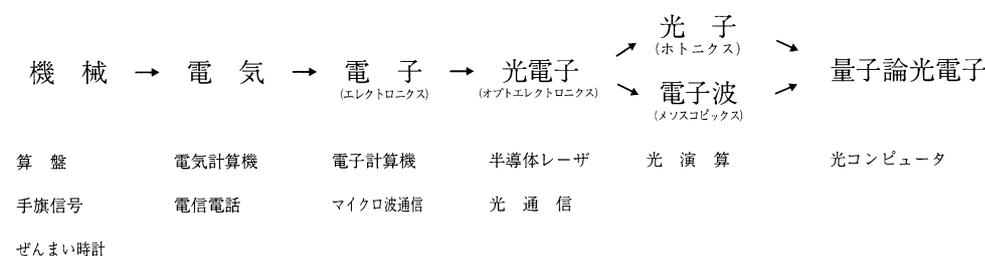


図2 情報処理から眺めた科学技術の流れ
Science and technology evolution for information processings

掛け声研究として、次の世代はホトニクスだ、ホトニクスだとスローガンを挙げ、少しでも電子の役割が減り、光子の役割を増す領域を開発して行くことには何ら異論はない。しかし、ホトニクスと云う領域が既に存在しているかのような錯覚に陥ることは謹むべきである。

光は、赤外、可視、紫外を問わず、通常の電磁波の概念からすると、極度に周波数が高い。1秒間に約 5×10^{14} 回電磁界の方向が変化している。1周期は2フェムト秒間である。したがって、非常に短い時間のパルス波形を作り出し得る。この光パルスは1秒間に莫大な数を含ませることができる。言いかえると光を用いることによって莫大な量の情報を含ませることができる。これが、世の中で最も速く伝わるのだから情報伝送処理にとって、これ以上魅力のあるものはない。

3. 光の閉じ込め

直径が数 μm である光ファイバーの出現は、その中に光を閉じ込め、なおかつその中の伝播の損失は0.2dB/km、すなわち1kmを光が走っても、その強さが0.955倍だけになるに過ぎない。こうした光ファイバーの出現は、何はともあれ、光の閉じ込めに成功し、電線を伝わる電子のように、信号の発散を防げるようになった。またファイバー内で、光が一方向に伝わると云うことは、まさしくジャジャ馬の光を手なずけることに成功したのと同じである。これは、銅線に電子を走らせることができるようになったのに相当する。光を電子のように閉じ込めることができたようになった意義は非常に大きい。

4. 光による演算

電子の特性を活用して、高速に情報処理を行う科学技術の分野がエレクトロニクスである。さらに大量の情報伝送、画像処理を行うのに、電子のみならず光の特性をも活用する分野がオプトエレクトロニクスである。逆に光による情報処理技術にエレクトロニクスの手法を取り入れている領域がオプトエレクトロニクスである。ここでは、電子が関与している限り、真の光の特性が生かし切れない。したがって、エレクトロニクスから脱皮して光だけによる情報処理を考えるべきだと云う考えがある。その究極の課題として光計算機 (optical computer) が提唱されている。これは、言葉だけが少し先に走り過ぎている反省から、光演算あるいはoptical computingと云う少し遠慮している表現を用いている。光から出発し、電子を取り込んだオプトエレクトロニクスでは、電子が関与している限り、高速になり得るに限界があると考え、光のみによる情報処理として光演算が新しい先端的な分野として関心が寄せられている。そうした名前をもつ国際会議が毎年開催されている。

しかし、電子の物理の世界と、光の物理の世界が根本的に異なることを認識せず、また光を増幅するデバイスをもたず、またそれらの集積したものを得ることのできない現実では、optical computingが昔の応用光学の領域に回帰してしまう恐れがある。言葉の綾にまどわされず、地道な研究を忘れないようにしたいものだ。

5. 光の増幅

光は我々に、非常に多様な姿で現れる。人間の眼は、光のうちでも、その波長が780nmから380nmの間の光にのみ感度をもつ。光全体から見れば、非常に狭い波長帯域に過ぎない。この狭い波長帯域内の光を、人間の眼は、赤、橙、黄、緑、青、藍、紫の7つの色として感じる。この7色があってこそカラー・ディスプレイを論じることができる。このことは、電気と様相を大いに異にする。電気の流れを担う電子には色がない。可視の光の外側は、赤外、紫外光と云って人間の眼には見えない。

しかし、この光を思うがままに使うための半導体デバイスは、まだ実現されていない。特に、可視光中の短い波長である緑、青、藍、紫の色を得ることは容易ではない。光を論理演算の媒体として用いるとき、光スイッチまたはホトニック・スイッチは不可欠なデバイスであるが、満足し得るものは何もない。光ファイバーが家庭内にまではいつて来るとき絶対必要な光交換器の有力候補のデバイスは、まさしく暗中模索である。何よりも真空管、トランジスタのような良い増幅器がない。Erという元素を添加した光ファイバーによる光増幅が脚光を浴びているが、電子管、トランジスタの感覚からすればズングリムックリでよろしくない。

6. 光による評価

我々がこれらの難問に、半導体材料で解決しようとする。このことが間違っているかも知れないが、ともかく現在の所、この考えが正道と考えられている。さてこの半導体の中で、光がどう振舞っているかと考えると、半導体内伝導電子と相互作用する、電気分極と相互作用するなどが挙げられる。それらの現象の過程は 10^{-14} 秒で経過するため、非常に速い。しかし、この現象を詳細に把握してこそ、半導体内の光現象が解明でき、その結果を新しい光デバイス実現に役立て得る。

光は半導体物性の評価の手段に良く用いられる。これは、光の照射、受光を通して評価を行うため、半導体に手を触れずに評価できると云う最大の利点がある。まことに評価の方法としては、スマートである。一例として、光で励起させ、それによって生じた半導体内の非平衡状態から、平衡状態に緩和する非常に速い過渡現象を測定し、半導体内の発光過程、発光機構を知ることができる。いわゆる時分解光発光評価と云って、現在、我々の提案研究を行っている不規則超格子の内部を少しのぞくことができている。

光は大気中、水中を伝播することができる。光ファイバーの中の伝播ではなく、特有の減衰が生じる。したがって、この減衰の様子を知ることにより、大気、水の

汚染を評価することができる。物性評価のみならず地球環境の評価にもなくてはならないものである。

7. あとがき 一光に関心をもつ人々へー

光は人間に、他の方法では絶対得られない情報を与えてくれるが、なかなか電子の流れのように言うことを聞いてはくれない。まるで、天賦の才をもつ神童のようであるが、なかなか人の言うことを聞かない。だからこそ、天賦の才を活かすべく、一生懸命に黙って行く興味が沸き、またそれに成功すると、文明の恩恵を人間社会にもたらすところ計り知れないものがある。だから研究者は、連日、連夜一生懸命に取り組んでいる。いつしか、成功し、正しい情報が、何時でも、何処でも、誰でも得られるようになり、知識の大衆化すなわち正しい知識をすべての人々が持ち得て、すべての人に日の当たる豊かな生活ができることを願って筆を置く。

最後に、話を進めて行く過程で独断的な所は、百も承知で書いて来た。この小文が、日夜、光と死闘を繰り返している人々、何故、光、光と騒いでいるのか疑問に思っている人々にとって、一服の休息の文になっていれば誠に幸いである。

