



【寄稿】（新フェロー）

「半導体レーザーの動作理論と半導体テラヘルツ光源の研究」



浅田 雅洋（東京工業大学）

このたび、電子情報通信学会よりフェローの称号を賜り大変光栄に存じます。ご推薦いただきました方々をはじめ、この研究を支えてくださった多くの方々に深く感謝いたします。フェローの称号を賜りました研究は「半導体レーザーと半導体テラヘルツ光源」ですが、半導体レーザーといえば代表的な光デバイス、テラヘルツといえば光よりもはるかに低い周波数、このような異なる領域のデバイスを一連の研究として扱ってきました。

半導体レーザーは、現在、光エレクトロニクスの中心的なデバイスのひとつであり、さまざまな応用が展開されていることは言うまでもありません。私が半導体レーザーの分野に入ったのは、大学院修士課程で末松安晴先生（現、東京工業大学名誉教授）の研究室に所属したときで、その当時は、現在では光通信光源として当たり前に使われている InP 材料系（GaInAsP/InP）のレーザーが、まだ波長 1.55 ミクロンはできたばかり、1.3 ミクロンがようやく室温連続発振したところでした。

半導体レーザーの理論では、その頃、不純物によるエネルギーバンドを考慮して光利得を計算する Stern の理論があったほか、バンド内電子緩和を取り入れて光利得や発振縦モード間の競合を解析できる密度行列理論が、末松研究室の先輩である金沢大学の山田実先生により展開されました。この理論を InP 系のレーザーに使ってみようということで勉強を始めました。密度行列理論は摂動展開をベースにした非常に計算量の多い解析で、どんな研究でもそうだと思いますが、一見スマートに実験結果を説明している解析の裏にはこのような、いわば泥臭い、大量の計算があるということを実感しました。研究室では、理論のテーマであっても、机上の空論にならないようにと実験にも加わるようになっていたので、半導体レーザーの作製にも携わりました。このおかげでその後の研究でも、具体的なデバイスを思い浮かべながら計算を行うという習慣ができました。理論を InP 系に適用するためにバンド構造の計算も勉強しました。計算をまとめ、光利得や利得飽和の半導体材料依存性を求め、長波長レーザーほど利得飽和が起こりやすいなどの結果を得ることができました。

大学院博士課程に進んだ頃、半導体極薄膜形成技術もよ

うやく確立してきており、数 nm の極薄層を用いる量子井戸レーザーの研究も始まっていましたので、上記の理論を量子井戸レーザーにも拡張しました。それまで行ってきたバンド構造計算も取り入れて、光利得のスペクトルが偏光方向やバンド内電子緩和によって大きく変形することがわかりました。おもしろい結果でしたが、たぶんもう誰かやっているだろうと勝手に思い込み、論文にするのがずいぶん遅れて先生からお叱りを受けました。この2年ほど後にポスドクで滞在したドイツのシュトゥットガルト大学で、この理論を使っていたらいいことを滞在中に知って知り、バンド内緩和のメカニズムなど詳しい議論もずいぶんすることができました。

その後、大学で助手に採用されたときに、層方向だけでなく2次元、3次元に微細化した量子細線や量子ドット（その当時は量子箱と呼んでいました）などの低次元レーザーにも理論解析を拡張し、光利得の偏光方向依存性やレーザー発振のしきい値電流などを計算し、極低しきい値動作ができるかもしれないことを示すことができました。

こうして半導体レーザーの理論の研究をしていた助手のころ、研究室で、半導体レーザーは所詮入出力ポートの区別がない二端子素子であるが、光の三端子素子は作れないだろうかという議論がありました。これは、末松先生が以前から光三極管とよんで、ときどき話題にしていたものということでした。三端子素子といえばトランジスタだが、それは電子デバイスであって、フォトンとの相互作用など関係ない。光三端子素子というなら、フォトンを通じたように増幅する三端子素子でないといけな。こんなよくわからない議論を半ば冗談のようにしていましたが、光の周波数とまで行かなくても、数 THz（テラヘルツ）くらいの周波数であれば、フォトンエネルギーが数 meV と、小さいながらも無視できない大きさなので、電子を走らせる電子デバイスと電子を遷移させる光デバイスの混ざったような奇妙なデバイスが考えられるかもしれないと思い始めました。そんなおかしな考えからテラヘルツの分野をいろいろ調べるうちに、テラヘルツ帯では半導体光源がほとんどないということから、それなら、まずは室温で動作する光源を目指す研究をしてみようということで、テラ

ヘルツデバイスの研究に移っていきました。このようなきっかけでしたが、いろいろと試行錯誤の末、共鳴トンネルダイオード (RTD) によるテラヘルツ発振器の研究に至りました。

現在、およそ 0.1~10THz のテラヘルツ帯は透過イメージングや化学分析、大容量無線通信など、さまざまな応用が期待され、盛んに研究が行われています。光源はこれらの応用のキーデバイスですが、室温動作、高効率・高出力、コンパクトさという点を全般的に満足できるデバイスがないのが現状です。半導体光源(図1)では、光デバイス側から量子カスケードレーザが盛んに研究されており、最高動作温度も上昇していますが、まだ室温動作は実現していません。電子デバイス側からは、タンネット、インパット、ガン、RTD などのダイオードや、ヘテロバイポーラトランジスタ(HBT)、高電子移動度トランジスタ(HEMT)、シリコン CMOS トランジスタが研究されており、室温動作ですが、周波数も出力もまだ十分ではありません。

RTD を選んだのは、InP 系で特性のよい RTD があり、それを用いればテラヘルツ発振可能かもしれないという期待からでしたが、周囲に InP 系光集積回路の荒井滋久先生と西山伸彦先生、InP 系トランジスタの古屋一仁先生(現、東京国立高専校長)と宮本恭幸先生の研究室があったことは、デバイス作製を進める際に頻りに議論を頂くことができ、大変な助けになりました。

どのような共振器をつけたらよいのか、低周波の寄生発振が起こりやすいが、それをどうやって抑圧したらよいのか、失敗を繰り返しながら、不完全ながら微細スロットアンテナ集積構造に辿り着き(図2)、発振周波数も最初 93GHz だったのが、340GHz、650GHz と次第に上げられるようになりました。340GHz のときには、3 倍高調波 1.02THz の発生も観測できましたが、1THz 以上が出ているとは思わず、測定範囲を 1 THz までしかとっていなかったために危うく見逃すところだったこともありました。

RTD の電子走行時間など高速動作時の物理もいづらか理解できてきて、デバイス構造にそれが反映できるようになったころ、助教の鈴木左文君と共同で、ようやく 2010 年に電子デバイスとしては初めての 1THz を超える室温基本波発振が得られるところまで来ました。現在、1.31THz までの室温基本波発振が得られています。出力はまだ 10 μ W と小さいので、アンテナ構造などを工夫してもう一桁以上、できれば二桁上げる必要があります。まだサブテラヘルツですがトランジスタの進展も著しいので、RTD

のほうはもっと高い周波数を狙うことや、あるいはトランジスタとの集積なども考えていかなければならず、初めてテラヘルツ発振したとはいえ、まだまだ性能向上の努力が必要です。

この研究が、試行錯誤がありながらも順調に進んだのは、上述のように、周囲から研究室を超えた交流をしていただくことができたほか、大学に量子ナノエレクトロニクス研究センターという、電子ビーム露光装置などの極微細加工設備が非常に充実したセンターがあったことも幸運でした。このような環境と、面倒な議論に付き合っていたいただいた皆様に深く感謝したいと思います。

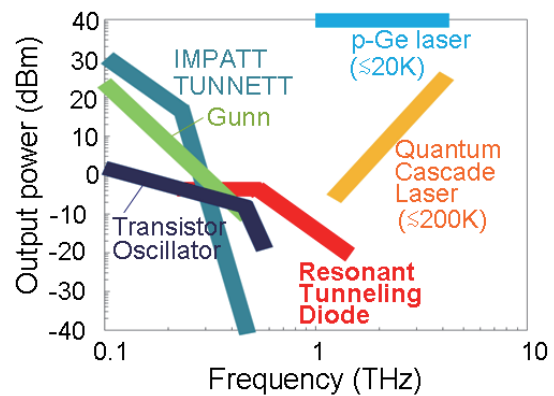


図1 主な半導体テラヘルツ発振素子の現状

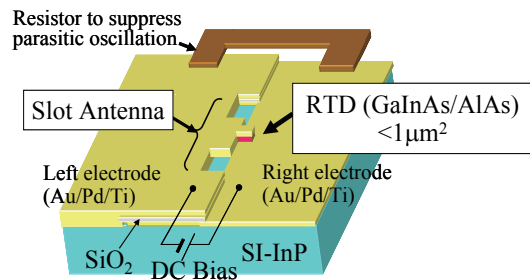


図2 RTD によるテラヘルツ発振素子

著者略歴:

1979 年東京工業大学工学部電子物理工学科卒業、1984 年同大学理工学研究科電子物理工学専攻博士課程修了(工学博士)。1986~87 年ドイツ、シュトゥットガルト大学物理研究所研究員(フンボルト財団)。1999 年東京工業大学総合理工学研究科教授。

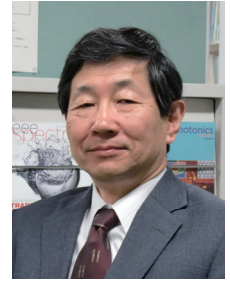
2003 年および 2006 年応用物理学会 JJAP 論文賞、2006 年市村学術賞、文部科学大臣表彰科学技術賞、2007 年国際コミュニケーション基金優秀研究賞、IEEE および応用物理学会フェロー。



【寄稿】（新フェロー）

「半導体レーザーの実用化と超高速光信号処理デバイスの研究開発」

石川 浩（産業技術総合研究所）



このたび電子情報通信学会より上記の研究開発に対してフェローの称号を賜りました。ご推薦頂いた内田直也様、ご指導いただいた方、またとりわけ私が研究開発に従事した富士通研究所、フェムト秒テクノロジー研究機構、産業技術総合研究所で共に働いた多くの方々に深く感謝いたします。ここでは、まず、私のこれまでの研究開発を振り返り、続いて現在の光デバイス技術の研究の厳しい現状について雑感を述べてみたいと思います。

私は 1972 年に東工大の修士課程を修了して、富士通に入社し、同研究所に配属されました。最初の年は、GaP の赤色 LED の研究をし、2 年目から半導体レーザーの研究開発に従事しました。当時半導体レーザーが室温連続発振して間もない時期で、光通信に向けて各社が競って研究開発を行っていました。1979 年に行われた NTT の日本初の光通信のフィールド実験用の GaAlAs 系のレーザーの開発、その後 400Mb/s の幹線系に向けた InGaAsP 系のレーザーの開発を行いました。当時、企業間の競争が激しい中、後発の富士通研では、ずいぶん苦しい研究開発でした。当時開発した InGaAsP 系の V 型の溝に活性層を埋め込んだいわゆる VSB レーザは一時期だけですが最も歩留まりが良く高速特性もよいレーザーでした。このレーザーは、NTT の幹線系(1985 年完成)、日米間の初の光海底ケーブル TPC 3 に実装されました。海底ケーブル用のレーザーの高信頼化では、自らの寿命を縮めるような苦労をした記憶があります。おかげさまでこの研究で東京工業大学の末松先生にお世話になって学位を取ることができました。次の研究は 1Gb/s の通信のための DFB レーザです。これも人も含めた研究資源の不足からずいぶん苦しい時期がありましたが、途中から大幅な人員増強をしていただいて、開発が軌道に乗りました。当時の最大の問題は、DFB レーザの単一モード発振の歩留まりが極めて悪いことで、DFB レーザとして申し分のない構造のものを作っても解決しませんでした。これは、一緒に研究をしていた雙田晴久氏が軸方向の空間的ホールバーニングによる不安定性によるものであることを理論的に明らかにして、回折格子と光の最適な結合度を明らかにして、解決することができました。雙田君の論文は Google Scholar で見ると 180 件の引用があり、

DFB レーザの量産化に大きく寄与した優れた成果です。DFB レーザに関する問題が解決して、極めて優秀な研究者達と、世界初の変調器集積化レーザー、コヒーレント伝送用狭線幅波長可変レーザーなどを開発することができ、いつも他社に遅れがちであった我々がしばらくの間優位に立てた時期でした。続いて、量子井戸、歪量子井戸の研究とレーザーへの導入で一層レーザーの性能は向上しました。

この時期(1995 年頃)、研究も行き着く所まで来たという感じがしました。さらなる展開のためには、新しい材料や新原理のデバイスを開発する必要があると感じました。そこで、歪量子井戸の展開として、InGaAs 三元混晶の基板を用いた温度特性の良いレーザーの提案と開発、半導体利得媒質の 3 次非線形を用いた波長変換や分散補償、量子ドットレーザーの研究などを行いました。当時これらの基礎寄りの研究を進めるにあたって、極めて優秀なメンバーと一緒に研究ができました。納期に間に合うような開発に追まわられていた時期と違って基礎まで立ち返って勉強し研究を進める良い機会を得ることができました。

2001 年にフェムト秒プロジェクトの集中研であるフェムト秒テクノロジー研究機構 (FESTA) に出向して、超高速光スイッチの研究開発を担当しました。量子井戸のサブバンド間遷移や有機非線形を用いた全光スイッチ、フォトリソニック結晶などの研究開発に従事しました。このプロジェクトは 2004 年度で終了しました。

プロジェクト終了にあたって、せっかくの FESTA の成果を発展させ、多くの設備を有効に利用するという観点から、また、産総研で光通信に向けたデバイスの研究開発をスタートさせたいということで産総研の小林理事、渡辺光技術研究部門長から産総研にこないかとのお誘いを受けました。そこで、富士通研を退社して産総研に移りました。産総研でも、優れた研究者に恵まれ、また多くの方々のご支援を頂き、2005 年に超高速光信号処理デバイス研究ラボが発足し、2008 年にはネットワークフォトリソクス研究センターを発足させることができました。研究センターでは、ネットワークの消費電力を 3-4 桁下げる新しいネットワークを目指して、ダイナミック光パスネットワークという概念のネットワークを、デバイスからアプリケーション

ンとのインターフェイスまで垂直統合した形で研究を進めています。この研究は、文部科学省のイノベーションシステム整備事業で「光ネットワーク超低エネルギー化技術拠点」を形成して、企業 10 社と連携して進めています。

以上が私の研究歴です。レーザーの実用化に向けた研究をしていた時期と比べて昨今の光デバイスの研究環境はとて厳しくなっていると感じています。雑駁ですが、状況を三つほど挙げて雑感を述べさせていただきます。

一つは、新しいデバイスを出現させたり、性能を向上させたりする原理が使いつくされた感があることです。レーザーの研究を開始したころは、レート方程式が解って、導波路のモードが計算でき、多少の半導体の知識があれば、レーザーは判ったような気になりました。その後、DFB レーザに係る結合モード理論と周期構造、量子井戸、歪量子井戸に係るバンド計算の kp 摂動論など、すでに準備されている理論を取り入れて行くことで、レーザーの性能は向上し、さらに実システムに実装していくことができました。もちろん、並行して、液相成長から MOCVD 成長へと結晶成長技術の進展も大きな要素でした。最近では、ナノ構造や、“量子・・・”など話題になる課題はあるものの、実システムに使われて、イノベーションを起こすことになるかという点、その可能性は相当小さい気がします。すなわち基礎的研究の産業化への歩留まりが大変小さくなっているということです。基礎的な研究の重要性は変わらないとしても、何か別の観点を持って研究に取り組むことが必要な気がします。

二つ目は、開発したデバイスを産業化することは針の穴を通すよりも難しいということです。DFB レーザの開発をしていた時は、まだ技術も確立していなくて歩留まりも 1% を切るような状態でも出来次第システムに適用されるという状況でした。企業間の激しい競争で大変苦しい開発でしたが、開発したものが世の中で確実に使われるという幸せな時代でした。最近では、いくらデバイスの性能が良くても、コストや時期まで含めてシステムとのマッチングがうまくいかないと実際に使われるデバイスにはなりません。新しい可能性を開きたいと 1995 年以降に手掛けた基礎寄りの研究は多少の学術への貢献はあったとしても、実システムで使われるデバイスにはなっていません。また、FESTA 時代から産総研に引き継いで手掛けてきた量子井戸のサブバンド間遷移を用いた超高速全光スイッチも、スーパーハイビジョンを伝送する動展示を NHK 技研公開でさせていただくレベルにまでなりましたが、システムの動向として直ちに実用化とはいきません。厳しく言えば私

のこの 15 年あまりの研究は世の中、産業に貢献していないということです。

三つ目は、集積化です。シリコンフォトニクスによる低コストのトランシーバの開発が盛んです。化合物光半導体デバイスの集積化研究も急速に進展しています。集積化は低コスト化の手段です。コストから逆算して開発すべき技術を決めるといったことが必要で、シードからの研究は成功しません。また、集積化の研究には、設備投資とその維持が必要です。日本の研究機関、企業にはその余裕がありません。今日たまたま新聞を読んでいると、日本で Google や Facebook がでてこないのは、ビジネスモデルのだけの問題ではなくて初期投資額が小さすぎことも要因だという記事がありました。我々の世界にも当てはまるようです。

では、以上に対してどうすればよいのでしょうか？ 答えは持ち合わせがありません。言い放しにならざるを得ません。ただ、一つ我々の試みを紹介したいと思います。我々の「光ネットワーク超低エネルギー化技術拠点」では、ネットワークのアーキテクチャ、アプリケーションとのインターフェイス、制御プレーン、システム機器、デバイスまでを技術的に垂直統合させた研究開発を進めています。世の中に出て行くデバイスやシステム技術を開発するには、アプリケーションまでを見据えた、研究が必要だという考えに基づいています。最近米国でも、企業内で垂直統合した研究開発の必要性が議論され始めているようです。これにはデバイス開発の経費を上位レイヤの売り上げで賄おうという趣旨もあります。我々が進めている垂直統合の研究が実を結んで、世の中、産業に貢献できれば、昨今問題のごく一部ですが、解決する事例になるかもしれません。

以上、私の研究歴と昨今のデバイス研究の難しさに対する勝手な私見を述べさせていただきました。最後に、これまで多くの優れた研究者の方々と一緒に研究開発ができ、多くの方々にご支援頂いたことを深く感謝いたします。また、若手の研究者技術者の方々が現在の困難を乗り越えて大きな成功を収められることを祈念します。

著者略歴：

1972 年東京工業大学大学院修士課程修了、同年富士通研究所入社、2004 年産業技術総合研究所へ移籍、現在同ネットワークフォトニクス研究センター長、1984 工学博士。受賞：電子通信学会学術奨励賞('78)、発明協会関東地方発明表彰奨励賞('91)、SSDM Paper Award('98)、IEEE Fellow('02)、応用物理学会フェロー('11)、応用物理学会優秀論文賞('12)



【寄稿】（新フェロー）

「半導体レーザーの光海底ケーブルシステムへの応用」を振り返って

宇佐見 正士 (KDDI)



このたびはフェローの称号を頂き、大変光栄に存じます。ご推薦を賜った関係者の方々に心よりお礼申し上げます。また、これまでご指導いただいた先輩方々、ともに仕事をした同僚、仕事にご協力いただいた多くの方々に感謝いたします。

半導体レーザーの分野では、数多くの先駆的な業績を残されている先生方や御先輩方がフェローとなられています。また、今回のフェロー受賞者の4名が半導体レーザーに関係されています。このような重要な分野において、私のように幸運にも光海底ケーブルという実用的分野に従事していたことで本称号いただけることに、少し気後れを感じておりますが、本寄稿が今の若い世代の研究者・技術者にとって何かしらの励みや参考になるのであればと勇気を奮って筆を取らせていただきます。

大学時代にシリコン結晶成長を研究していた私が、国際電信電話（現在の KDDI）に入社したのは、ちょうど太平洋横断光ケーブルの開発着手のニュースを耳にして、自分も世界中の海で光ケーブルを敷設するようなスケールの大きな仕事ができるのではないかと想像したからでした。2年間の短波送信所での設備保守業務の後で、私にとって何より幸運だったのは、初代の太平洋横断光ケーブルシステム TPC-3(1.3 μm)の開発直後に立ち上がった、1.55 μm システムの研究開発プロジェクトに呼ばれたこと

でした。1.55 μm は石英ファイバの最小損失帯ですが分散があるため、単一波長光源が必須であり、その本命として開発された 1/4 波長シフト DFB（分布帰還型）レーザーの製造プロセスを確立することと特性の向上が私のミッションとなりました。

製造プロセスでの肝は途中で位相を反転させた 1/4 波長シフト回折格子作りでした。当時は 240nm 間隔の回折格子は一般的に干涉露光法で作製したため、ネガとポジの2種類のフォトリソを InP 基板上に隣同士に塗り分ければ一回の干涉露光で回折格子の位相を反転（1/4 波長シフト）させることができます。フォトリソの塗布条件や露光条件、エッチング条件など、初めての経験でしたが、自分なりにひとつひとつ課題を解決して、予想通りに出来た時は心の中でガッツポーズしたものでした。

回折格子作製は第一ステップにすぎません。その後の LD 製造工程（LPE 結晶成長、ストライプ加工、埋め込み（BH）成長、研磨、電極、へき開カッティング、パルス特性測定、チップボンディング、CW 特性測定）をすべて自分で行った（行えた）時代でした。時間はかかりましたが、さまざまな技術課題の解決には頭とカラダと直感力で乗り切っていたと思います。開発した LD 技術は初の 1.5 μm 太平洋横断ケーブル(TPC-4)に採用されました。今は皆さんの仕事は細分化され、自分の枠を超えてトライすることは簡単にはできないと思いますが、積極的に全体を

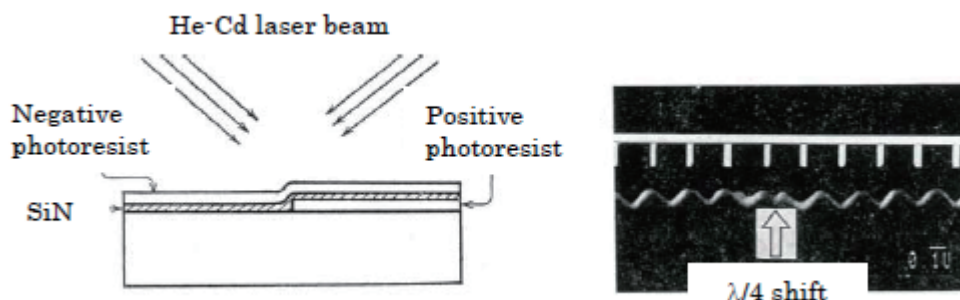


図1. ネガレジスト／ポジレジスト併用の干涉露光法と InP 基板上に作製した $\lambda/4$ シフト回折格子

知ると何が本質的な課題か見極める直観力(直感力)が養われると思います。

ある日、プロジェクトリーダーの秋葉氏が、LD モジュールにはモニタ PD が実装されているので、LD のキャップ層(InGaAs)を利用してモニタ用 PD がモノリシックに集積できないか。と提案がありました。そこで、n 型 InGaAs を追加積層し、アイソレーションにより PD としたところ、LD と PD の温度依存性(波長や受光効率)が相殺されて、結果的に非常に温度特性の良いモノリシックデバイスができました。この PD を使えば LD をウェハ状態で測定できます。ところが、結果的には、LD 用ウェハで PD を集積することはコスト的に見合わず、メーカー様には採用されませんでした。世の中には、うまくいかないこともあります。

1990 年に入って、EDFA と WDM が出現し光伝送が一変しました。私達は、新時代の海底ケーブルシステムとして EDFA 海底中継器の開発に携わりました。EDF、合分波器、フィルタ、0.98 μm ポンプ LD など、多くの部品の専門家やシステム専門家と一緒に仕事をした集大成として、2000 年以降の太平洋横断光ケーブル(PC-1, Japan-US) や大西洋横断光ケーブル(TAT-14)などのシステム(10Gbps x 16WDM)に数多く採用されました。ここでは、他分野も含む多くの方々の知識や考え方を学んだこと、自分だけでは知り得ないチーム力・総合力の大切さを知ったことが財産になりました。

2000 年代に入ってから、新しい領域にチャレンジしました。当時、省エネや高速化の観点からネットワークを全光化することが期待されていました。そこで、半導体光デバイスの非線形性を利用した全光再生や波長変換の研究に取り組みました。この分野は国内だけでなく海外の研究チームも活発で、互いに競い合ったり、時には共同研究をしたり、さまざまなアイデアを出し合って議論する研究フェーズで、まさに学会での活動が中心となった楽しい記憶があります。残念ながら、大容量化の変調方式が ON/OFF 変調から多値変調へ移行する中で、本分野の研究はまだ実用には至りませんが、光伝送を物理的に深く探索したテーマであり、この分野で蓄積した財産は必ず将来の光技術の発展に生かされるものと確信しています。

以上の通り、私自身は未熟でしたが(まだまだ未熟です

が)、周囲の方々と交わってさまざまな教えをいただくことで、長い時間をかけてですが、何かを残すことができたかなと思っています。若い研究者・技術者のみなさまに伝えたいとすれば、今はとても不透明な時代ですが、常に自分の外に視野を広げて、時には異分野の方々とも交わって、自らの方向性を確認してください。意志があれば道は必ず開かれます。

著者略歴：

1983 年早稲田大学理工学部修士修了、同年 国際電信電話(現 KDD I)に入社。

1985 年より 2007 年まで、同研究所にて、光デバイス、光通信システム(特に、海底ケーブルシステム)、光ネットワークシステムの研究開発に従事。2007 年より、全社の技術戦略・研究開発企画を担当し、現在に至る。電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ O P E 研究専門委員長 2010。

著書に「Ultrahigh-Speed Optical Transmission Technology」(Springer) 共著。文部科学大臣科学技術賞 2012 年、工学博士。



【寄稿】（新フェロー）

「液晶テレビ用低残像駆動技術の開発： —液晶テレビ市場を創造して—」



奥村 治彦（(株) 東芝）

このたび、電子情報通信学会より「液晶テレビの低残像駆動と低電力駆動技術の先駆的研究と実用化」における貢献に対してフェロー称号を賜りました。一緒に研究を推進してくれた人はもちろんのこと、この研究に携わる契機やアドバイスを与えてくださったすべての方々に、心より感謝いたします。

今回フェロー称号を受けるに当たり、もっとも大きな成果として認めていただいたオーバードライブ技術は、液晶ディスプレイにおける残像（動きがある画像が尾を引いてボケて見える現象）の低減方法に関し、特に、液晶の応答性が劣化する画像の中間調（中間の明るさ）における応答速度を4倍以上高速化することが可能な液晶ディスプレイ（LCD）用駆動回路技術です。

1980年代後半の開発当初は、白黒テレビ、カラーテレビに続く第三の波として大型テレビへと進化したブラウン管テレビの絶頂期で、テレビ市場は、ブラウン管テレビの独占状態でした。これに対して、液晶ディスプレイは、ラップトップPCへの搭載が始まり、静止画の高画質化のための技術開発がスタートしたばかりの時期でしたが、プラズマディスプレイとともに、将来、フラットパネルテレビの市場創出の鍵を握るディスプレイとして期待されていました。この夢の壁掛け液晶テレビを実現するために、研究開発センターの中に、材料からデバイス、システムに至る20~30人規模の大きなプロジェクトが発足しました。我々システム担当は、性能上の最大の課題は動画の高画質化、つまり、画像を残像がなくブラウン管テレビ並みに鮮明に映し出す技術がもっとも重要と考え、これに絞って開発を進めました。当時、残像の発生は主に2値（黒：透過率0%と白：透過率100%）の応答特性の悪さに起因すると考えられていたため、この2値応答が高速である新しい液晶材料の開発に力が注がれていました。

しかし、それまで長年、動画中心の撮像技術と映像伝送技術などに携わってきた経験から、2値応答は言われているほどには遅くないと感

じ、原因は別にあると思っていました。そして、1つ1つ実験を積み重ねることで、残像の原因が、中間調（グレー：中間の明るさ）に変化する際の応答劣化と液晶分子の回転に伴う静電容量変化による駆動電圧の低下であることを、突き止めることができました。さらに、明らかになった残像発生モデル（液晶動的応答モデルと液晶動的容量モデル）に基づいて残像低減を行う技術、すなわち、液晶応答劣化を補償するために、液晶に加える電圧を、階調（明るさ）の変化に応じて一定期間だけ強調（オーバードライブ）する液晶駆動方式を発明するに至りました。（図1）。

本技術により、液晶テレビの中間調の応答は従来の4倍以上に高速化（60Hz 駆動で応答時間 16.7 ミリ秒以下）され、残像の大幅な低減が可能になりました（図2）。

1992年には、本技術を搭載した液晶テレビを世界で始めて試作するとともに、ディスプレイ技術分野の最大の国際学会であるSID（Society for Information Display）で、本技術に関する論文発表を行いました。本発表は、当時主流であった高速液晶材料なしには残像低減は難しいという考え方に新風を吹き込み、技術開発の新しい流れの端緒となりました。しかし、この新しい流れの芽が、残像のない大型液晶テレビとして結実するまでの道のりは、決して平坦ではありませんでした。その1つは、製品化するためにはフレームメモリを必要とするために、コストが高かったからです。1995年には、メモリ容量を半減させる

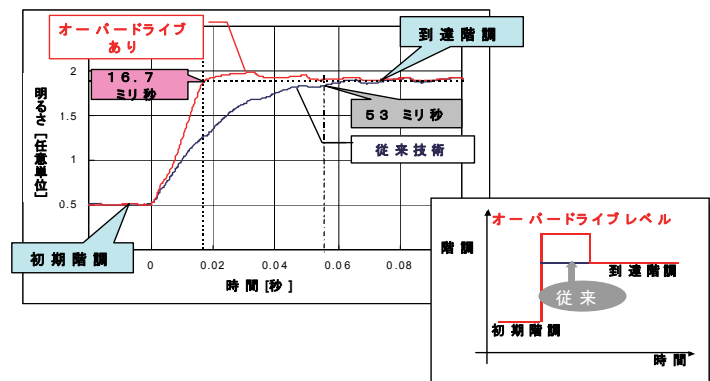


図1 オーバードライブ技術の原理と効果



従来技術



オーバードライブ技術

図2 オーバードライブ技術による残像低減効果

低コスト化技術を開発して業務移管までこぎつけたものの、まだまだコスト圧力が強く製品化には至りませんでした。結局、半導体技術の進歩とともにメモリコストが低下することで、2002年に初めて液晶テレビに搭載され、それ以来、急激に市場が伸びました。本技術は、今では約1億台の液晶テレビのほとんどすべてに搭載されるデファクトスタンダードとなりました。

さらに、本技術を、PCや携帯に応用することを検討し、2002年には、ハードウェアを全く追加することなく、ソフトウェアだけでオーバードライブ処理をリアルタイムに行えるソフトウェア方式の開発につながりました。本技術は、2003年に、動画表示を中心とするマルチメディアPCに搭載され、現在、ワンセグ携帯電話などへも普及

しつつあります。

夢の壁掛けテレビと言われた液晶テレビの実現に貢献したオーバードライブ技術ですが、研究開始から製品化まで10年以上かかりました。他の人がやっていないことにあえてチャレンジする勇気をもって、多くの人々に使ってもらえるまで、あきらめずにチャレンジしつづけることが新しい流れを作ると信じています。

“継続は力なり”

著者略歴：

1983年、早稲田大学大学院理工学研究科電気工学専攻修士課程修了、同年、(株)東芝に入社。撮像装置の高画質化技術、画像圧縮技術、液晶表示装置の高画質化に関する研究開発を経て、現在、高臨場感ディスプレイ、拡張現実感ディスプレイの開発に従事。液晶テレビの残像を低減するオーバードライブ技術に関して、ディスプレイ国際学会SIDより2004年Special Recognition Award、2006年地方発明賞、2007年市村産業賞受賞、2009年全国発明賞恩賜発明賞、文部科学大臣賞など多数受賞。工学博士、IEICE 2012年エレクトロニクスソサイエティ大会運営委員長、SID編集委員、IDW 12実行委員長、SIDフェロー、日本液晶学会副会長、正会員。



【寄稿】（新フェロー）

「通信用波長可変レーザの研究開発

ー波長可変レーザの30年にわたる進化に携わって」

東盛 裕一（NTTエレクトロニクス）



このたび電子情報通信学会より「電流注入型波長可変半導体レーザの先駆的研究」における貢献に対してフェローの称号を賜りました。ご推薦頂いた方々をはじめ、この研究に携わる契機を与えて頂き、ご指導頂いた恩師末松安晴東京工業大学名誉教授、波長可変光源の研究開発をご指導頂き、博士課程2年で研究が行き詰まった時にBundle-Integrated-Guide(BIG)型レーザ実現の契機を与えていただき波長可変光源の研究開発を更に加速させて頂いた荒井滋久東京工業大学教授、及び、NTTフォトニクス研究所で超周期回折格子(SSG)を集積した波長可変DBRレーザの開発を共に行った吉国裕三博士(現、北里大学教授)、SSG-DBRレーザの最適化、性能向上、波長安定化制御等に尽力頂いた石井啓之博士(現NTTフォトニクス研究所グループリーダー)、そして大学時代から今日まで、波長可変レーザ関連で学会、研究室、職場で議論させて頂いた多くの皆様に心より感謝いたします。

大学院修士一年から末松教授の研究室に入れていただき、半導体集積レーザの開発に従事いたしました。当時研究室は1.55 μm 帯の半導体レーザの室温連続発振に成功して、末松教授、荒井教授は更なる集積レーザ実現に向けて日々研究開発されており、セブンイレブン(7:00am~11:00pm)あるいはサンチェーン(24時間営業)とよばれ非常に厳しい研究室でしたが、当初から荒井教授をはじめ多くの先輩方について液相成長によるレーザ結晶の成長からプロセス、評価技術を直接指導頂く機会に恵まれ多くのことを習得することができました。修士1年の後半から末松教授より、“単一モードレーザの発振波長を電流的に制御できる集積レーザを開発する”というテーマを頂き、それが今日まで続くこととなりました。

当時波長可変レーザは1980年に末松教授らにより半導体レーザの位相とブラッグ波長とを電圧印加による屈折率変化で制御する特許提案がなされていましたが、波長可変の実証はなされておらず、またその後実証に至った電流注入による屈折率変化による波長可変の報告もまだなされていませんでした。

そこで、集積レーザ技術を使って波長可変構造を有する

1.55 μm 帯のGaInAsP/InP長波長半導体レーザで、レーザ発振に寄与する活性領域と、レーザ発振光の一つ共振モードを選択的に反射するブラッグ反射器領域、及び発振波長を可変できる位相制御領域を集積したレーザを試作し(図1)、1983年に波長可変レーザによる電氣的な波長制御として、電流注入によるプラズマ効果を用いた屈折率変化により0.41nmの連続的な波長可変をはじめて実証することができました。

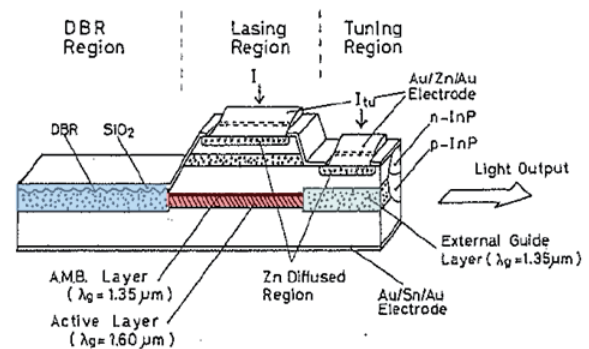


図1. 波長可変DBRレーザの模式図

この電流注入による波長制御は今ではごく当たり前ですが、当時は“安定に発振しているレーザの発振波長が電流で可変できるとは思えない”という意見もあり、実際に実証実験で確認するまでは大変心配であったことを覚えています。その後、各種の波長可変レーザを試作し可変範囲を広げると共に、温度変動時に通常は発振波長が変動してしまう現象を電流制御して、逆に波長変動を完全に抑制した波長安定化(ゼロ温度係数動作)を40度以上にわたって実証しました。また、波長制御方法として、これも今では当たり前の制御となっていますが、ブラッグ波長制御と位相制御の2つの制御を用いて連続的な波長可変が行える電流制御方法を提案しました。

1986年3月に博士課程を修了、卒業するまでに、先生方のご指導により、DBRレーザでの位相制御、ブラッグ波長制御、温度変動時の波長安定化などの実証、並びに波長の連続制御方法の提案などを行うことができました。

1986年にNTTに入社した後は、故板屋義夫博士（前NTTエレクトロニクス）、吉国裕三博士らと単一モードレーザの開発を継続しましたが、当初は液相成長から有機金属気相（MO-VPE）成長に移行する時期であったため、集積レーザ作製技術の立ち上げに従事すると共に、MO-VPE装置の立ち上げにも参画することができました。そのお陰で高品質の結晶成長や複雑な集積技術を習得することができMO-VPE成長でも活性層と波長制御層の突合せ接合（Butt-joint）を可能にすることができました（図2）。

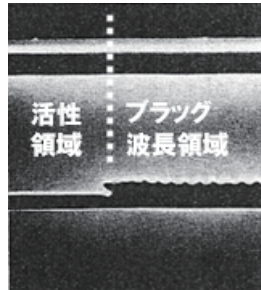


図2. MO-VPE成長による Butt-Joint 接合断面

1988年3月から1年3ヶ月間は、思いがけず米国コロラド大学に客員研究員で滞在する機会に恵まれました。その間、世界中の大学、研究機関で活躍されている多くの方と議論させていただく機会に恵まれ知見を広めると共に、多くの人と知り合える機会を得ることができました。

帰国後、吉国裕三博士らと共同して、1992年にSSG（Super-Structure-Grating）反射鏡、及びSSG反射鏡を一体集積した電流制御型波長可変SSG-DBRレーザを提案し、特許取得も行うことができました。このレーザは1983年の電流注入による波長可変機能を有し、更にバーニア効果で従来の波長可変範囲を一桁拡大することができ、現在の通信用波長帯であるC帯、L帯もカバーすることができるようになりました（図3）。

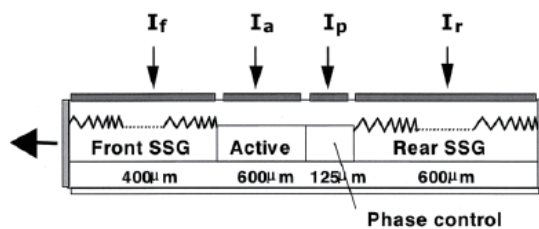


図3. SSG-DBRレーザの模式図

尚、SSGレーザ提案と同時期に、先の電流注入による波長可変機能を有し、SSGとは異なるSG（Sampled Grating）とバーニア効果を用いた波長可変SG-DBRレーザがUCサンタバーバラのColdren教授らのグループから提案され、このレーザはAgility社（現JDSU社）

から通信用の広帯域波長可変レーザとして供給され、特にD-WDM用光源として世の中に普及してゆきました。

D-WDM通信システムは、当初は固定波長のDFBレーザを用いて開始されましたが、運用時の波長設定や故障時の予備光源の計画的配備を必要としたため使いづらく、システムが普及しにくい状況でした。しかし、上記のように電流制御型波長可変レーザの実現、波長可変範囲の拡大により波長可変レーザが実用化され、更に普及したため、固定波長のDFBレーザは徐々に波長可変レーザに置きかえられてゆきました。但し、最初は高額であった為、故障時のバックアップ光源として用いられていましたが、程なく価格が下がり固定波長DFBレーザに対して遜色が無い程度になると、ほとんどDFBレーザが置き換えられてゆくようになりました。波長可変レーザの登場により、通信事業会社としては過剰な在庫をかかえる必要が無くなり、設備投資計画に柔軟に対応できる見込みができたため、2004年以降全世界で本格的に導入されるようになりました。

波長可変光源の開発に従事して30年近くが経ちますが、D-WDM通信システムは10G、100Gと発展してゆく中で、光源には、省電力化、小型化、そして各種機能素子との集積化などが求められてゆきます。その中で、DBR型の広帯域波長可変レーザは柔軟に対応できるため、この先もD-WDM通信システム用光源として全世界で幅広く使われ続けると考えています。

著者略歴：

1986年 東京工業大学電子物理工学科博士課程終了、工学博士。同年、日本電信電話株式会社（現NTT）入社、波長可変光源、光半導体機能素子、半導体光集積回路等の研究開発・実用化に従事。1988～1989年コロラド大学客員研究員、2005～2007年NTTエレクトロニクス・企画部長、2007～2009年NTT・光デバイス研究部・部長。2009年よりNTTエレクトロニクスに転籍、生産技術部・部長。

学会関連：電子情報通信学会論文賞（1987年、2004年）電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ賞（2004年）、ソサイエティ副会長・編集担当（2010年）、レーザ量子エレクトロニクス研究会（LQE）委員長（2005年）、集積デバイスと応用研究会（IPDA）委員長（2010～11年）、IEEE Senior Member



【寄稿】(新フェロー)

「新しい電磁波領域の実用化を目指して」

永妻 忠夫 (大阪大学)



このたびは、「光技術によるサブテラヘルツ波発生と無線通信への応用」という貢献内容で、フェローの称号を頂戴いたしましたことを大変光栄に存じますとともに、本研究を遂行するにあたり甚大なるご指導とご支援をいただいた NTT 研究所の皆様をはじめとする関係各位に心よりお礼申し上げます。本稿では、研究の経緯やそれにまつわるエピソード等をご紹介しますことで、お世話になった皆様への感謝の意を示し、また、若手研究者の方に読んでいただくことで何かのお役に立てればと思ひ筆を執ることにいたしました。

私自身の四半世紀を超える研究領域を振り返ってみますと、本稿のタイトルにありますように、まだ世の中で(特に産業界で)利活用されていないテラヘルツ波(0.1THzから10THzの周波数領域)に関わるものです。ただ、若い頃からこれをやりたいと意図したのではなく、気が付くとずっと同じ電磁波の研究に携わっていたという感じです。私の最初のテラヘルツ波との出会いは、約30年前の大学院生の頃に遡ります。当時は、ミリ波(30GHz~300GHz)、サブミリ波(300GHz~3THz)と呼ばれていた電磁波が対象でしたが、超伝導体を用いたジョセフソン発振器に関する研究が博士論文のテーマでした。用途は電波天文に用いるヘテロダイナ受信機のための発振器です。当時からの周波数帯には安定で高出力の信号源がありませんでした。

博士課程修了後 NTT 研究所に入り、そこでは超伝導体ではなく半導体 IC(Integrated Circuit)の研究を見習いから始めました。そのうち、私の研究テーマは IC の設計そのものよりも、開発した IC を如何に測定するかという評価技術にシフトし、やがて、どんな高速のトランジスタや IC も測定できる計測器を作ることが研究開発のターゲットになりました。世界一速い LSI を作るには自らが世界一広帯域の計測技術を持っていなければならないという自負があったように思います。この計測技術の研究では、電気光学サンプリング(Electro-optic sampling: EOS)と呼ばれる光技術を用いた手法に挑戦しました。岩田穆氏(現・広島大学名誉教授)、佐野栄一氏(現・北海道大学)、柴田随道氏(NTT)と一緒に研究を立ち上げ、技術誌 NTT R&D に「非

接触テラヘルツ IC プローバ」(Vol. 40, No. 1, pp. 109-118, 1991年01月)という題目で、テラヘルツ帯域を持った IC 計測技術を紹介しています。その後、品川満氏(現・法政大学)と共に IC テスタへの実用化研究を進めました。図1の写真は、電気光学(EO)結晶を電界センサとして IC に近接させた様子です。IC 上の電気配線から漏れた電界によって EO 結晶の複屈折率が変化し、これを上方からレーザー光を照射して偏光変化として検出するしくみです。IC 内部の任意のポイントの電気信号波形を計測することができます。実用化のためには、当初用いていたマニャックな固体レーザーや色素レーザーではなく、半導体レーザーが不可欠だったのですが、タイミングよく、光ファイバ通信技術で利用されていたパルスレーザー技術を、岩月勝美氏(現・東北大学)から伝授いただきました。その後、この EOS 計測技術は NTT 研究所内で開発された、様々なデバイスや IC の評価・診断に使われました。

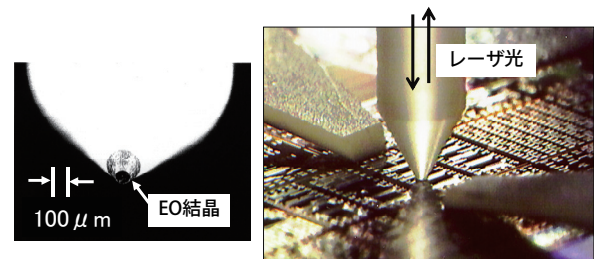


図1. テラヘルツ IC プローバによる計測

1996年、石橋忠夫氏(現・NEL)の考案による「単一走行キャリアフォトダイオード(Uni-traveling carrier photodiode: UTC-PD)」の開発においても EOS 技術が活用され、さらにこの UTC-PD が高出力テラヘルツ波の発生において大活躍することになります。佐藤憲史氏(現・沼津高専)が開発された、繰り返し60GHzのモード同期レーザーを用いて、UTC-PD から60GHzのミリ波信号を発生させてみたところ、驚くことにガンダイオード並みの10mWを超える出力が得られることが分かりました(1998年)。そこで、もっと高い周波数の電気信号の発生に挑戦したいと考えたのですが、もはや同軸ケーブルで扱える周波数では

ないことから、枚田明彦氏(NTT)と共に、図2の写真に示すようなフォトダイオードを平面アンテナに接続した「サブテラヘルツエミッタ」を開発しました。動作周波数は、上記のモード同期レーザの出力を光マルチプレクサで通倍した 120GHz で、アンテナは、町田克之氏(現・NTT-AT)、石井仁氏(現・豊橋技科大)他によるシリコン MEMS 技術によって作られたものです。社内で、ショットキーダイオードを用いた受信機と組み合わせて、10MHz のアナログ TV 信号の無線伝送のデモに成功した時は感激でした。

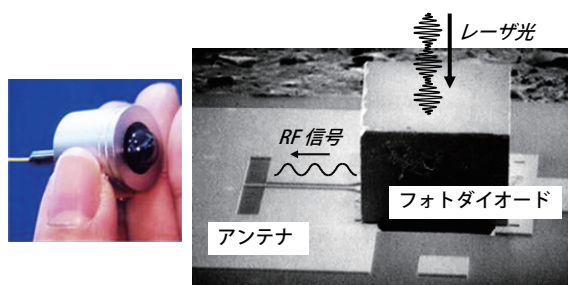


図2. サブテラヘルツ波エミッタ

さて、この 120GHz エミッタの開発をきっかけに、2000 年頃から無線通信応用への研究開発に注力し始めました。120GHz 帯は、60GHz 帯よりも大気減衰が少なく、加えて 10GHz 以上にわたり減衰の低い電波の窓があることから、10Gbit/s 程度のラストワンマイル(1~2km 程度)の無線には使えるのではないかと予想していました。UTC-PD は、前出の石橋氏をはじめ、伊藤弘氏(現・北里大学)、古田知史氏(現・NEL)、若月温氏(現・NEL)、村本好文氏(NTT)他の精力的な研究により、出力、帯域ともに性能を伸ばしました。また、小杉敏彦氏(NTT)、村田浩一氏(NTT)、徳光雅美氏(現・NEL)他が開発された InP-HEMT による 120GHz 帯増幅器のお蔭で、送信機の出力が 10mW を超え、また受信機の感度も大幅に改善された結果、上記のラストワンマイル無線は現実のものとなりました。

2005 年頃から、フジテレビジョンとの 120GHz 帯無線の開発プロジェクトが始まり、枚田氏をはじめ、佐藤康弘氏(NTT)、高橋宏行氏(NTT)、山口良一氏(現 NEL)他により、屋外実験や国際展示会でのデモンストレーションが展開され、技術に磨きがかかりました。ハイビジョン TV 信号を非圧縮で遅延無しに複数チャンネル送れることが魅力でした。図3は、お台場で行った屋外実験の様子で左右の大小のアンテナは、それぞれ、マイクロ波と 120GHz 帯送信機のアンテナです。さらに 2006 年からは、門勇一氏(現・京都工繊大)をリーダーとする研究開発プロジェクト(総務

省)が NTT、フジテレビジョン、NHK との共同で発足し、オール電気システムによる 120GHz 帯無線機の開発が進められ、2008 年の北京オリンピックの中継(トライアル)にも成功しました。



図3. 120GHz 帯無線の屋外実験の様子

120GHz 帯無線の研究を皮切りに、現在、世界各国で 100GHz を超える周波数を利用した無線通信の研究開発が活発になりました。中でも、275GHz を超える周波数帯の電波利用については、国際的な周波数割り当てが無かった(ごく最近、受動業務用の割り当てが始まっているが、能動業務についてはこれからである)ことから、300GHz 帯無線に対する関心が高まっています。今大学では、光技術を用いたテラヘルツ電磁波の発生技術をつるにして、300GHz 帯無線通信のほか、分光やイメージング(トモグラフィ)の応用研究も展開しています。

以上、計測技術の研究から始まった様々な人と技術との出会いが、当初想像もつかなかった無線通信の研究に繋がり、さらに最近になって世界中の人たちが同じような研究を始めたことは、なんとも研究者冥利につきます。「偶然の出会いを大切に」をモットーに、人、技術、そして物理現象との関わりを楽しみながら、21 世紀に残された電磁波領域の実用化に向けてより一層精進していきたいと思えます。残念ながら本稿ではご縁のあった方々のごく一部しかご紹介できませんでした。ご指導、ご支援いただきました数多くの皆様へ感謝の意を表して筆をおきます。

著者略歴：

1986 年 九州大学大学院工学研究科 博士課程修了(工学博士)。同年、日本電信電話 (NTT) 入社。2007 年 大阪大学大学院基礎工学研究科 教授。主として、超高速エレクトロニクス、マイクロ波フォトニクス(光技術と電波技術の融合分野)の研究開発に従事。大河内記念技術賞、科学技術長官賞、電子情報通信学会業績賞、通信協会前島賞、文部科学大臣表彰科学技術賞、近畿総合通信局長賞等を受賞。

「ハニカム誘電体基板集積導波管（HCSIW）の検討」

池内 裕章（兵庫県立大学）

この度、エレクトロニクスソサイエティ学生奨励賞を授与して頂き大変光栄に存じます。ご推薦くださいました学会関係者の皆様に深くお礼申し上げます。日頃からご指導いただいている河合正准教授、太田勲副学長、ならびに関係者の方々に深くお礼申し上げます。



今回受賞対象となりました「ハニカム誘電体基板集積導波管(HCSIW)の検討」は、誘電体基板に波長に比べて十分小さな空気ポストを多数配置した新しい SIW の検討とその応用に関する報告であります。今までに様々な SIW 回路素子が提案されており、構造の一部に空気ポストを装荷することにより生じる誘電率分布を用いた回路素子もすでに報告されております。しかしながら、空気ポストの直径が大きすぎることから、そこからの放射を防ぐため上下を金属で覆う必要があります。今回提案した回路構造は波長に対して十分小さな径の空気ポストを多数配置する構造ですので空気ポストからの放射損はその他の損失と比べて無視できるほど小さくなります。また、空気領域と誘電体領域の占有面積比率から容易に実効比誘電率をコントロールすることが可能です。さらに、誘電体領域が空気領域に置換されることで誘電体損が減少し、通常の SIW よりも減衰定数が小さくなるという特長を有しております。そして任意の形状で実効比誘電率を容易に調整することができるという特長を各種 SIW 回路素子の設計に応用し、誘電率分布を用いた回路設計について提案しました。今回は直角コーナーに適應した例を示しましたが、その他の回路にも HC 構造を応用して様々な回路素子の特性改善や新たな回路の提案を行い実験的にもその有効性を確認したいと思っております。

最後に、今回本賞を頂きましたことを励みとして、今後とも研究に邁進したいと思っております。今後ともご指導、ご鞭撻のほど宜しくお願ひ申し上げます。

著者略歴：

平成 20 年摂南大学工学部電気電子工学科卒業、平成 22 年兵庫県立大学大学院工学研究科電気系工学専攻博士前期課程修了。同年より同専攻博士後期課程在学中。

「VLF 帯大地-電離層導波管伝搬の解析」

伊藤 仁（電気通信大学）

この度は名誉ある賞をいただき大変光栄でございます。ご推薦いただいた関係者の皆様にお礼申し上げます。



受賞対象となった「VLF 帯大地-電離層導波管伝搬を用いた電子密度プロファイル同定手法の検討」

は、VLF 帯(3~30kHz)の電磁波を用いて地上から高度 100km 程度にある電離圏を解析するものです。電離圏の発見から幾年経過した現在でも、その振る舞いには依然として多くの謎が残っています。本研究グループではリアルタイム電離圏電子密度観測の実現を目指し、数値電磁界解析による検証を行っています。電離圏は地上から高高度に位置するため直接観測することは困難ですが、電離圏で反射した電磁波を地上で観測することは容易です。よって電離圏の変動は地上での電界強度の変動に反映されます。本研究では電子密度分布と電界強度の関係を最適化問題として扱うことで電離圏の電子密度同定が可能なることを示しました。最適化問題では膨大な計算量が問題となりますが、VLF 送信局伝搬に特化した高精度、省資源の電磁界シミュレータの開発と近年流行の GPGPU の導入により高速な計算を実現しました。

現在はまだシミュレーション上での検証を行っている段階ですが、より効率的で実用的な同定手法にする予定です。近い将来、VLF 波の観測から電離圏じょう乱等の同定が可能となり、地球物理の解明に役立つことを願っています。

最後になりましたが、日ごろからご指導いただいている安藤芳晃准教授に感謝申し上げます。

著者略歴：

平成 23 年電気通信大学電気通信学部電子工学科卒業、同年より同大学大学院情報理工学系研究科修士課程在学中。

「3次元中空導波路レーザの作成・評価」

阿久津 友宏（東京工業大学）

この度は栄誉ある賞を授与頂き、大変光栄に存じます。ご推薦いただいた学会の関係者の方々に深く御礼申し上げます。

今回受賞対象となりました「3次元閉じ込め中空導波路 DBR レーザ (II)」はわずかなコア厚変化で巨



大な波長可変特性を有し、かつコアが中空のため低温度依存性という特徴をもっております中空導波路と SOA (Semiconductor Optical Amplifier: 半導体光増幅器) を組み合わせた新たな可能性を秘めた外部共振器型半導体レーザです。今後通信量の更なる大容量化を実現するためには、波長帯域の制限などから周波数利用効率を高める必要があります。そこでは従来の on-off-keying ではなく、位相情報を利用した「光デジタルコヒーレント方式」並びに「多値変調方式」に注目が集まっています。そのための高性能半導体レーザが報告されていますが、波長可変性、モード安定性、狭スペクトル線幅、実装容易性などの両立には課題が残っています。本報告ではスペクトル線幅 100kHz 以下の狭線幅化と波長温度安定化の両立を目標とし、中空導波路長および SOA 長の設計、損失低減のための無反射コート、中空導波路と SOA の結合効率向上のためのビームスポット形状の制御を検討・作成し、狭線幅化の実現可能性を示すとともに、中空導波路の優れた温度特性についても報告させていただきました。

現在、我々研究グループでは3次元中空導波路の更なる構造解析と損失の低減による高度化を目指しています。今回の受賞を励みとして、一層の精進を重ねたいと思います。今後とも皆様のご指導ご鞭撻の程、どうぞ宜しくお願い申し上げます。

最後に、指導教員の小山二三夫教授、共著者であり親身にご指導をいただいた山川英明研究員をはじめ研究室の方々にこの場を借りて厚く御礼申し上げます。

著者略歴：

平成 24 年東京工業大学工学部電気電子工学科卒業。
同年、同大学総合理工学研究科物理電子システム創造専攻以来、光通信光源の更なる高性能化に向けた研究に従事。

「Si 細線光導波路リング共振器フィルタを用いた狭線幅波長可変レーザ」

根本 景太（東北大学）

この度は名誉あるエレクトロニクスソサイエティ学生奨励賞を頂き、大変光栄に存じます。ご推薦下さいました学会関係者の方々に深く御礼申し上げます。また、本研究の遂行にあたり、ご指導いただきました山田博仁教授、北智洋助教、ならびに関係者の方々に厚く御礼申し上げます。



今回受賞対象となりました「Si 細線光導波路リング共振器フィルタを用いた狭線幅波長可変レーザ」は、シリコン細線光導波路を外部共振器として用いた波長可変レーザにおいて初めて、次世代大容量光通信として注目されているデジタルコヒーレント通信に適用可能である 100 kHz 以下の狭スペクトル線幅を実現した報告です。シリコン細線光導波路は、強い光閉じ込めと大きな熱光学効果を持つため、共振器の劇的な小型化と波長可変動作時の省電力化が可能となります。本報告では、狭スペクトル線幅を得るため、リング共振器や共振器長の構造の最適化設計を行いました。そして作製されたフィルタを用いてレーザの評価を行い、実際に線幅 100 kHz 以下での動作を確認し、デジタルコヒーレント通信用の光源として適用が可能であるということを示すことができました。

現在は、レーザの安定性の向上や高出力化を目指して研究を行っています。また、モジュール化に向けた取り組みも行っています。

今回の受賞を励みとして、今後も波長可変レーザの研究に精進していきたいと思っております。今後とも皆様のご指導ご鞭撻のほど、宜しくお願い申し上げます。

著者略歴：

平成 24 年東北大学工学部情報知能システム総合学科卒業、
同年、同大学院工学研究科通信工学専攻修士課程入学。
シリコン細線光導波路リング共振器型狭線幅波長可変レーザの研究に従事。

「超低電力オペアンプの高速化技術」

鶴屋 由美子（神戸大学）

この度はエレクトロニクスソサイエティ学生奨励賞を頂き大変光栄に存じます。ご推薦下さいました学会関係者や選考委員の皆様方には深く御礼申し上げます。また本研究の遂行にあたりご指導頂きました廣瀬哲也准教授、共同研究者である小林修氏（STARC）、ならびに関係者の方々に厚く御礼申し上げます。



今回受賞対象となった「超低電力オペアンプの高速化技術」は、ナノワットオーダーの超低電力で動作するオペアンプにおいて問題となる応答速度の劣化を改善する新手法を提案しています。この手法は、オペアンプの仮想接地が崩れたときのみバイアス電流を増幅し、その電流を回路に供給する技術（適応バイアス技術）を用いています。動作時のみに駆動電流を増加させることで低電力かつ応答速度の改善を実現できます。提案オペアンプは、新しいアーキテクチャに基づいた適応バイアス技術を用いており、適応バイアス回路とオペアンプのネガティブフィードバック構成を採用することで、時々刻々と変化する入力電圧の状態検知から電流の増幅までをシンプルな構成で実現しています。

しかし、提案したオペアンプは一段構成の基本オペアンプを用いているため利得が低い課題があります。また、適応バイアス回路がオペアンプの諸特性に及ぼす影響について詳細な検討を行う必要があります。現在は、これらの検討課題を進めるとともに、低電力かつ高速なオペアンプを用いたアプリケーションシステムの検討を行っております。詳細なチップ測定評価を行い、有用なアナログ回路システムの構築に向けた基礎研究を推進しています。

今回の受賞を励みとして、今後の研究において一層邁進して参りたいと思っております。今後とも皆様のご指導、ご鞭撻の程、宜しくお願い申し上げます。

著者略歴：

平成 23 年岡山大学工学部通信ネットワーク工学科卒業、
平成 24 年神戸大学工学研究科電気電子工学専攻博士前期課程在学中。





【寄稿】(論文誌技術解説)

「ELEX : 第六回レビュー論文紹介」
(ELEX 編集委員会)

ELEX 編集幹事 藤井孝治 (NTT)



オンラインレター誌 Electronics Express (通称 ELEX) では、2011 年 7 月より、3 ヶ月に一回、エレクトロニクス分野の中から注目のテーマを 1 つ選定して、数篇のレビュー論文を掲載し、当該分野に関する読者の理解を深めていただくための企画を開始致しました。これまでに計 5 回、全 14 篇のレビュー論文を掲載してまいりましたが、おかげさまで、数多くの読者の方の支持をいただき、読者数の極めて高い人気の企画となっております。

この度、ELEX、10 月 25 日号にその第六回企画が掲載されましたので本誌面をお借りしご紹介させていただきます。第六回目の今回は、「マイクロ波受動回路技術」をテーマに、兵庫県立大学・河合正先生と小山高専・大島心平先生にレビュー論文をご執筆いただくことができました。いずれの論文も、非常に読みやすく、本分野の概要から最近の話題まで専門外の研究者にも理解しやすくまとめられています。また、かなりの数の参考文献を引用していただいております。また、マイクロ波受動回路技術の最近の動向を知り、調査しようとする方には大変有益なものとなっております。以下、各論文の内容について簡単にご紹介させていただきます。

河合先生の論文では、マイクロ波及びミリ波の無線機器において重要な役割を果たす、ハイブリッド回路について、その広帯域化に向けた設計手法を、2 つの事例を基に、詳しく解説いただいております。1 つめは、外部のマッチング伝送路による branch-line 型の 90 度ハイブリッド回路について説明いただいております。マッチング回路を外部とすることで入出力ポートへの集積化が可能となり、小型化と広帯域化の両方を実現しています。中心部分の回路解析には等価アドミタンス手法を、外部のマッチング回路には、隣接 3 周波数での整合条件をもとに広帯域化する手法をそれぞれ使い、比帯域幅 40%にわたり反射ロス-20dB 以下という広帯域特性を得ています。2 つめは、CRLH-TLs(Composite Right-/Left-handed Transmission Lines)と RH-TLs(Right-Handed Transmission Lines)を組み合わせた rat-race 型の 180 度ハイブリッド回路について説明いただいております。小型化のキーである CRLH-TLs の回路モデルについては、分布定数回路を単純

な T 型の集中定数回路の直列接続で表現されるなど、設計上、非常に参考になる内容となっております。また理論的な検討と試作回路による実験データとの対比が適切になされ、この分野の研究者にとって進め方等についても示唆に富む内容となっております。

大島先生の論文では、LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramic)技術を用いた、マイクロ波積層モジュールについて詳しく解説いただいております。LTCC 技術の特徴であります、基板内への受動回路の組み込みとその多層化、低誘電率と高導電率を兼ね備えた材料特性とにより、高性能な RF 回路を 1 つの積層基板内にコンパクトに実装することが可能となっております。本論では、この LTCC 技術を用いたマルチプレクサ回路について、設計手法、実装手法、及び評価結果について詳しく説明いただいております。近年の無線通信端末では、携帯電話、無線 LAN、GPS など、種々の無線仕様に対応することが求められており、共通のアンテナから複数の周波数バンドを分波する、マルチプレクサ回路が重要な役割を果たしています。その点で、LTCC 技術は、キーとなるマイクロ波受動回路を小型かつ高性能に実現する技術として有望であり、無線機等の開発に携わる技術者にとって非常に有意義な内容となっております。

今回紹介したレビュー論文は ELEX Web サイト (<http://www.elex.ieice.org/>) からダウンロード頂けます。是非多くの会員の皆様にご一読頂きたいと思っております。今後は以下のようなテーマを取り上げていく予定です。

2013 年 2 月 フォトニック結晶

2013 年 4 月 パワーエレクトロニクス

末筆になりますが、この度企画にご賛同いただき、大変お忙しい中、素晴らしいレビュー論文をご執筆いただいた河合先生、大島先生には、改めて深く御礼申し上げます。著者略歴：

1993 年東京工業大学大学院理工学研究科電子物理工学専攻修士課程修了。同年、日本電信電話(株) LSI 研究所。

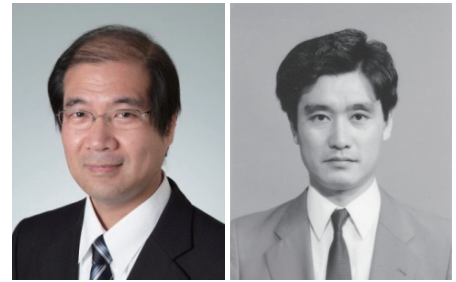
CMOS デジタル要素回路、ユビキタス無線用ベースバンド回路等の低消費電力化技術の研究開発に従事。



【寄稿】（論文誌技術解説）

英文論文誌小特集号「Special Section on Recent Progress in Electromagnetic Theory and Its Application」によせて

ゲストエディタ（電磁界理論研究専門委員会）



西本 昌彦（熊本大学）、白井 宏（中央大学）

電磁界理論研究専門委員会の取り扱う分野は非常に広く、電磁波（電波、光波、X線）に関する基礎理論から実用に直結した応用研究まで、広範にわたっています。一方、フォトニック結晶構造やメタマテリアルズなどの新材料、大規模構造による散乱問題の高速数値解析アルゴリズム、マイクロ波やミリ波、光通信システムにおける各種デバイス内の伝搬解析など、電磁界理論を中心とした応用技術が近年ますます盛んになってきています。このような現状を踏まえ、本研究専門委員会では、電磁界理論の進展とその応用に関する最近の新しい研究成果を総括することを目的として、毎年、英文論文誌Cの特集企画「電磁界理論の進展とその応用」小特集“Special Section on Recent Progress in Electromagnetic Theory and Its Application”を発行しています。今回の論文誌（2013年1月発行）では、平成23年11月17日（木）～19日（土）に富山県高岡市で開催された「第40回電磁界理論シンポジウム」で発表された研究内容を中心に論文募集していますが、それに限らず、2011年に開催された電磁界理論関連の国際会議（例えば、PIERS 2011-Marrakesh, PIERS 2011-Suzhou, IEEE AP-S/URSI 2011, ISAP 2011-Jeju等）での発表成果を発展させた内容についても、幅広く受け付けています。

今回は、総数20件（ペーパー10件、ブリーフペーパー10件）の投稿があり、慎重な査読審査の結果、最終的に6件のペーパーと6件のブリーフペーパーが採録となりました。採録論文の内容としては、電磁波の散乱・回折問題の理論解析及び数値解析、グレーティングおよびフォトニック結晶導波路などの周期構造中の電磁界解析、電磁界問題の各種数値解法、電磁波によるセンシング技術、トンネル内の電波伝搬解析など、さまざまな分野への応用を目指した電磁界解析に関する研究成果が含まれています。これらは電磁界理論研究会の扱う内容のごく一部ではありますが、電磁界に関する広範な内容が含まれており、本研究会の取り扱う分野が広範にわたっていることをご理解いただけることと思います。電磁界の理論解析および数値解析をはじめ、時代のニーズにあった最先端の研究成果も

含まれています。いずれの論文も2011年度にまとめられた最新の研究成果が記載されていますので、電磁界関連の研究開発に携わる多くの技術者・研究者の皆様にご覧いただき、今後の研究の発展に役立てていただければと思っています。

最後に、本特集号発行の機会を与えていただいたエレクトロニクスソサイエティの関係の皆様、貴重な研究成果を原稿にまとめて投稿いただいた著者の皆様、公正な判定と適切なコメントをいただいた査読者の皆様に、この場を借りてお礼申し上げます。また、本特集号の編集にあたっては、2名の編集幹事と12名の編集委員の協力をいただきました。特に、編集幹事には論文募集から査読、発行に至る全体の編集作業の調整と取りまとめにご尽力いただきました。記して謝意を表します。

編集幹事：藤崎清孝（九大）、安藤芳晃（電通大）

編集委員：稲沢良夫（三菱電機）、大貫進一郎（日大）、柏達也（北見工大）、木寺正平（電通大）、黒田道子（東京工科大）、後藤啓次（防衛大）、佐藤亮一（新潟大）、田中雅宏（岐阜大学）、出口博之（同志社大）、平野拓一（東工大）、横田光広（宮崎大）、渡辺仰基（福工大） [敬称略]

著者略歴：

西本 昌彦 1982年 熊本大・工・電子卒、1987年 九大・院・博士了、1987年 熊本大学工学部助手、助教授を経て、2004年 熊本大学大学院自然科学研究科教授、現在に至る。工博。2008年 本会エレクトロニクスソサイエティ活動功績表彰。2009-2010年 IEEE AP-S Fukuoka Chapter Chair、電磁界理論研究専門委員会委員長。信学会、IEEE、電気学会各会員。

白井 宏 1980年 静岡大・工・電気工卒業、82年同大学院工学研究科電気工学専攻修了、86年米国 Polytechnic 大学大学院博士課程修了。Ph.D. 同大学ポストドクトラル研究員を経て87年から中央大学理工学部。専任講師、助教授を経て現在教授。同大学入学センター所長を併任中。信学会フェロー、電磁界理論研究専門委員会副委員長。IEEE シニア会員、電気学会、ASA、日本音響学会各会員。



【寄稿】(論文誌技術解説)

英文論文誌小特集号「進化するマイクロ波・ミリ波フォトニクス技術小特集号」

ゲストエディタ (マイクロ波ミリ波フォトニクス研究専門委員会)

塚本 勝俊 (大阪工業大学)



モバイルアクセスで多彩なクラウドサービスをもっと便利に安全に利用したいというニーズが急激に増加している。このような状況の中、無線周波数資源を一層効率よくフレキシブルに利用する技術、新しい周波数スペクトルの開拓、それらの柔軟な提供とトラフィック分散を両立するバックフォールネットワークの重要性がますます高まっており、その実現に向けて、優れた光技術と電波技術の融合から生まれる新しいデバイス、コンポーネント、システム、ネットワークへの期待が大きい。

マイクロ波ミリ波フォトニクス (MWP: Microwave & Millimeter wave Photonics) 技術は、低周波から THz 波、光波に至る広大な周波数スペクトルにおける水平融合と、デバイスからシステム、サービスに至る垂直融合から新たな技術革新を生み出すことをターゲットにしており、デバイス/コンポーネント技術、アンテナ技術、ネットワーク技術、放送技術、計測・測距・イメージング技術などの多彩な専門分野から成り立っている。

APMP(Asia-Pacific Microwave Photonics Conference)は、MWP 国際会議と並んでアジア太平洋地域で毎年開催される国際会議であり、その第7回目となる APMP 2012 が IEICE エレクトロニクスソサイエティ主催で 2012 年 4 月に京都で開催された。会議では、100GHz 以上の搬送波を用いた 10Gb/s 級無線伝送の実現といった超高速無線通信技術や THz 領域の応用システムの大きな進展がみられ、その実現には光技術やデジタル技術が深く関わっている。また、感度や周波数範囲などの性能向上が著しい電界計測、レーダ/バイオなどへの新しい応用の提案、RoF システムの実用化の取り組み、モバイルバックフォールへの MWP 技術適用といった発表が多く見られた。デバイス分野では、光を用いてマイクロ波ミリ波信号を生成/検出する技術の大きな進展が見られ、光電波融合による高速化・広帯域化が着実に進むとともに、新しい手法の提案や実用化に向けた研究開発が行われていることが示された。

本特集号は、この APMP 2012 の開催を機に進展する

MWP 分野の研究成果を広く発信することを目的として、会議での発表を発展させた論文投稿とともに、広く MWP 分野からの最新成果の投稿を期待して企画した。

特集号は、3 編の招待論文と 5 編のショートペーパーを含む一般論文から構成されている。招待論文では、次世代のモバイルバックフォールへの WDM-PON の適用、最新のデジタル信号処理を用いたコヒーレント RoF 技術、そして、IEC における RoF デバイス/システムの標準化活動が報告されている。一般論文は、モバイルバックフォールへの RoF システムの応用、光技術を用いたマイクロ波/ミリ波の発生技術や計測技術、そのためのデバイス/コンポーネント技術、さらに光 AD 変換などの信号処理技術、光無線通信技術に関するものであり、多彩な分野を横断している。いずれの論文も新しいアイデアと最新の技術を駆使したシステムや方式の提案、デバイスやコンポーネントの作成、特性評価に関するものであり、MWP 技術分野に大きく貢献するものと考えている。

最後に本小特集号編集に当たり、公正な判定と的確なコメントを示していただいた小特集編集委員会の編集委員、ならびに査読者の皆様の多大なご協力に対して、この場を借りて深く感謝したい。特に、編集幹事の戸田裕之氏 (同志社大)、莊司洋三氏 (NICT) の両氏には論文募集から査読、発行に至る全体の編集作業において調整と取りまとめに献身的なご尽力を頂いた。ここに深く感謝したい。

著者略歴:

1984 年大阪大学大学院修士修了。同年シャープ(株)に入社。1988 年大阪大学大学院工学研究科助手、同講師、助教授を経て 2007 年より准教授。2012 年より大阪工業大学情報科学部教授。光無線通信方式、コヒーレント光通信方式、衛星間光通信方式、光ファイバ無線、RoF/RoFSO/RoR ネットワーク、電波エージェンツに関する研究に従事。1996 年電子情報通信学会論文賞、2005 年同業績賞、工学博士。



【寄稿】（論文誌技術解説）

英文論文誌小特集号 「SQUID and its Applications」
ゲストエディタ（超伝導エレクトロニクス研究会）

糸崎 秀夫（大阪大学）



超伝導が発見されて一世紀、高温超伝導体が発見されて四半世紀が経過した。また超伝導体の電子素子としての応用では SQUID (Superconducting Quantum Interference Device 超伝導量子干渉素子) が、発明されてから半世紀が経過した。そこで、今回の特集号では、SQUID を特集として、内外から招待論文と一般論文を募集した。

SQUID については、ヘリウムによる冷却を必要とするものを低温 SQUID、液体窒素による冷却で動作するものを高温 SQUID と称している。

低温 SQUID に関しては、40 年以上の長い開発の歴史があり、その応用展開が進んでいる。特に医療分野では脳磁計測などへの展開が進展している。今回の特集では、医療現場の利用状況について、大阪大学医学部の平田氏に脳磁計測の利用について、特に脳神経系の活動イメージングに関する論文を執筆いただいた。また、金沢工業大学の足立氏からは、頸椎の神経系損傷について SQUID を用いて診断する最新の装置や診断結果についての論文を投稿いただいた。また、最近の韓国における脳磁計測システムの開発については、韓国標準科学研究所 (KRISS) の Lee 氏に脳磁計や心磁計の開発状況の論文をいただくとともに KRISS で進められている新規な SQUID 応用として、超低磁場 NMR、マイクロカロリメータ、超微小力計開発などについても紹介いただいた。また、中国上海マイクロシステム情報技術研究所 (SIMIT) の Kong 氏から、プリアンプノイズの低減が可能となる新しい SQUID 駆動方式として近年注目されている電流と電圧をフィードバックする方式である SBC (SQUID Bootdtrap Circuit) 方式の開発状況と、その心磁診断への応用について、論文を投稿いただいた。

一方高温超伝導 SQUID の応用研究も着実に進んでおり、オーストラリア連邦科学産業研究機構 (CSIRO) の Keenan 氏はステップエッジ接合を用いた高温 SQUID を開発し、それを地質調査、マイクロ波通信のフロントエンド回路、THz イメージングへの応用展開について論文で解説いただいた。また、電気通信大学の守屋氏は量子電圧発生器への展開に関する論文を投稿いただいた。

今回は必ずしも、低温 SQUID、高温 SQUID の最近の研究開発の成果を俯瞰するような論文を集めるには至らなかったが、日本のみならず、オーストラリアや韓国、中国など先端的な研究を活発に行っている研究グループの論文を掲載することができ、SQUID 研究の最先端の状況を垣間見ることは十分に可能になっている。高温超伝導体発見以来すでに四半世紀が経過し、発見当時のフィーバはすっかり落ち着き、地に着いた研究開発が世界各地で着々と進展し、超伝導電子デバイスとしての研究から、医療分野や、地質調査など、いくつかの応用分野へ展開し、花開こうとしている。

著者略歴：

1976 年 大阪大学大学院工学研究科修士

1982 年 Northwestern University PhD

1976 年～2001 年 住友電気工業(株)勤務

2001 年～2004 年 物質材料研究機構勤務

2004 年～現在 大阪大学大学院基礎工学研究科教授

学会所属：電子情報通信学会、IEEE、SPIE、日本物理学会、応用物理学会、日本磁気学会、低温工学・超電導学会



7th International Symposium on Organic Molecular Electronics 及び英文論文誌 C
「分子エレクトロニクスと有機デバイスの新展開」小特集によせて
(有機エレクトロニクス研究専門委員会)

丸野 透 (NTT-AT)

有機材料はエレクトロニクス材料としてますます重要な地位を占めつつある。この分野の研究は、絶縁体、半導体、導体、超伝導体、磁性体としての基礎的物性の評価にとどまらず、メモリ、表示デバイス、太陽電池、光学素子、センサ、アクチュエータなどへの応用研究に加え、バイオ分野へも広がりを見せている。有機エレクトロニクス研究専門委員会(OME)では、21世紀を拓くこれらの材料とデバイスの研究を総括することにより更なる発展の指標が得られると考え、有機分子エレクトロニクスに関する国際シンポジウム International Symposium on Organic Molecular Electronics (ISOME) を開催している。

ISOME は第1回を2000年に名古屋(名古屋大学)で開催して以来、2002年に埼玉(理化学研究所)、2004年に京都(京都大学)、2006年に埼玉(埼玉大学)、2008年に兵庫(兵庫県立大学)、2010年に千葉(千葉大学)と隔年で開催し、エレクトロニクスソサイエティの定例的な国際活動の一つとして定着してきた。このたび第7回シンポジウムを2012年6月7日~8日にNTT武蔵野研究開発センター(東京都武蔵野市)にて開催した。本シンポジウム開催に当たってはエレクトロニクスソサイエティより多大なるご支援を賜り感謝申し上げます。

第7回 ISOME では大森教授(大阪大学)から"Polymeric Opto-electronic Devices for Optical Signal Transmission" と題して基調講演を頂いた他、海外から4件、国内から8件の招待講演があり、一般口頭発表及びポスター発表を含め全体で47件の発表があった。会議は作製評価技術、有機物性、電子デバイス、光デバイス、フォトニクス、バイオ関連技術などのセッションで運営された。各分野の内訳は作製評価技術10件、有機物性5件、電子デバイス4件、光デバイス15件、フォトニクス3件、バイオ関連技術10件であった。作製評価技術は基本技術として毎回一定数の発表がある他、近年は光及びバイオ関連技術の研究が活発であることがうかがえる。本シンポジウムは比較的小規模ではあるが、毎回シングルセッションですべての分野の研究者が一堂に会し、活発な討論を行うことを旨としており、分野の境界を越えて情報交換を行い、新たな知見を得る場

として大変有意義であった。なお昼休憩の時間を活用してNTT武蔵野研究開発センターの見学会を開催し、参加者から好評をいただいた。運営にあたっては同センターから多くのご協力を頂き、謝意を表す次第である。

第1回の ISOME から始まり毎回、同シンポジウム関連論文を募り、本学会英文論文誌 C に特集号を企画してきた。エレクトロニクスソサイエティにおいて、有機エレクトロニクスの投稿は多くはないが、これらの企画が本分野からの貢献を増やすための一助になることを願っている。このたびは2013年3月号に「分子エレクトロニクスと有機デバイスの新展開"Recent Progress in Molecular and Organic Devices"」小特集号の発行を予定している。同特集は現在査読・編集作業の最終段階であるが、順調に進めば6件の Paper、10件の Brief Paper が掲載される予定である(ISOME 招待講演による寄稿2件を含む)。有機エレクトロニクス関連分野の最新の研究成果を総括し、将来展望への指針に資するものとしてご参照頂ければ幸いである。

OMEとしては今後とも ISOME 国際シンポジウム及びこれに関連した英文誌 C 特集号を隔年で企画したいと考えている。有機エレクトロニクスは歴史的にも比較的新しく、実用的にも開拓段階ではあるが、新概念や新技術の提案などトピックスの変遷の早い分野である。本分野に対しエレクトロニクスソサイエティからも引き続きご支援賜りたく、報告かたがたお願い申し上げますの次第である。

著者略歴:

1980年京都大学工学研究科高分子化学専攻修士課程修了、同年日本電信電話公社(現・NTT)武蔵野電気通信研究所入社。光通信デバイスおよび有機光学材料の研究開発に携わる。NTT フォトニクス研究所複合光デバイス研究部長、NTT 第三部門統括部長、NTT 環境エネルギー研究所長を経て2009年よりNTTアドバンステクノロジ(株)に勤務。現在、取締役・先端プロダクツ事業本部長・KTN 事業部担当。2009・2010年度 OME 委員長。工学博士(京都大学)。