



【寄稿】(エレクトロニクスソサイエティ賞受賞記)

Si エレクトロニクス分野

「薄膜 BOX-SOI(SOTB)超低電力 CMOS 技術と その応用に関する先駆的研究開発」

土屋 龍太 (日立製作所)

杉井 信之 (日立製作所)

蒲原 史朗 (ルネサスエレクトロニクス)



この度、第 19 回エレクトロニクスソサイエティ賞をいただけることとなり、大変光栄に存じます。本選考に関わられた学会員の皆様、ご推薦いただきました皆様、この研究を支えて下さった多くの方々に深く感謝申し上げます。

CMOS 半導体は、様々な技術的限界を克服しながら 40 年以上に亘って、主に素子寸法の縮小(微細化)による性能向上を続けてきました。これまでは一貫して単結晶 Si 基板を用いたプレーナ型バルク CMOS が主に使われてきましたが、いよいよ微細化が困難になってきた昨今では FinFET と呼ばれる立体構造素子や FDSOI (Fully Depleted Silicon on Insulator) 素子に置き換わりつつあります。筆者らは、過去 10 年以上に亘り後者の FDSOI 素子である SOTB (Silicon on Thin Buried Oxide) の開発を行ってきました。本稿ではこの開発経緯をご紹介します。

CMOS 微細化の限界説は古くからありました。様々な技術的要因が指摘され、その都度革新的な技術により克服してきた歴史があります。本研究のきっかけとなったトランジスタの特性(しきい電圧 V_{th}) ばらつき問題も '70 年代から指摘されていましたが、顕在化するのとは '00 年代に入ってからでした。微細化課題を先取りする形で、'80 年代には様々な革新的構造の提案がなされました。'84 年の電総研(当時) 関川氏、林氏によるダブルゲート構造 XMOS、'88 年の NEC 福間氏による究極 MOS 構造(本研究の SOTB に類似した構造)、'89 年の日立 久本氏による DELTA 構造(現在は FinFET の呼称が一般的)や '95 年の日立 堀内氏による 2 重 BOX 型 FDSOI 構造(BOX は埋め込み絶縁層)などが代表例です。2 重 BOX は同時期に MIT から発表されましたが、上に挙げた提案のほとんどが日本からということは一筆すべきことです。

'00 年代に入り、技術世代としては 90nm のあたりで V_{th} ばらつきにより動作電圧が下げられず低消費電力化も困難という状況が見えてきました。この課題を解決するために、'03 年に発足したルネサステクノロジ(現ルネサスエレクトロニクス)との共同テーマとして本研究が始まりま

した。研究開始にあたり、最初の課題は SOI 基板の入手でした。幸いにもキヤノンの米原氏が発明された ELTRAN 基板を入手することが出来ました。当初は堀内氏が長年暖めてきた 2 重 BOX 構造を、素子毎に基板バイアスを印加することが可能な理想的構造ということで検討しましたが、さすがに製造困難ということで通常型の SOI 基板となりました。但し、要求した BOX 層の薄さは 5、7.5、10nm という極端な仕様でした。ELTRAN は素晴らしい技術で、上記困難な仕様の基板をすぐに入手できたのみならず、その膜厚均一性も現在の最先端 SOI 基板と比肩できる水準のものでした。なお当時本命と考えた BOX 膜厚 10nm は、現在でも SOTB 向けの最適膜厚です。この基板なしには我々の SOTB 開発を先駆けて行うことは不可能であり、SOI デバイス物理を長年追求されて来られた堀内氏と共に、ELTRAN 開発陣のご努力には感謝に堪えません。

SOTB の基本コンセプトは '04 年の IEDM 学会で土屋により発表されました。ここで簡単に SOTB の構造的特徴とそれが生み出す利点について示します。図 1 の断面模式図に示すように、SOI、BOX 層ともに 10nm 程度と非常に薄いことが構造的な特徴です。従来のバルク CMOS ではチャンネルに不純物を注入して V_{th} 制御を行っていましたが、これが V_{th} ばらつき問題の主要因でした。SOTB でも同様に不純物注入を行います。SOI、BOX 両層を通過してその背面に注入されます。このため、チャンネルとなる SOI 層の不純物濃度は低く抑えられ、 V_{th} ばらつきがバルク CMOS の 1/2~1/3 程度に小さく出来ます(第一の特長)。BOX 背面の不純物注入領域は第 2 ゲート電極となりダブ

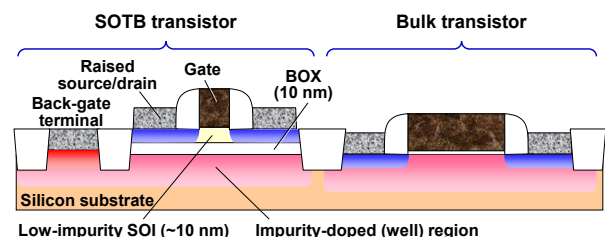


図 1 SOTB の断面模式図

ルゲート素子として機能します。このため、短チャネル効果に対する耐性と基板バイアス感度が高いという第二の特長があります。基板バイアスは V_{th} をチップ製造後に回路で制御、すなわち動作速度とリーク電流の制御を可能とし、この特長は低電力チップを作るうえで重要です。さらに、同じ基板で SOI、BOX 層を除去するだけで従来バルク CMOS も一緒に集積出来るという第三の特長があります。素子耐圧が必要な周辺回路や静電保護回路などは従来通りバルク領域に形成することが出来、論理回路セルの平面構造が従来と同じであることと相俟って、SOTB でのチップ設計が容易になります。他にもソフトエラー耐性に優れるという SOI 構造ならではの長があります。

'05 年より、ルネサスの開発ラインでの本格的な開発が始まりました。適用した技術世代は 65nm 相当でした。特筆すべきはこの技術世代を現在に至るまで 10 年以上変えていないことで、これは後述するように、本技術が他の微細化 CMOS 路線とは独立した主座標軸（消費エネルギー効率）で価値を追及してきた結果であることに他なりません。この開発フェーズでは、上記 SOTB の利点を素子レベルで実証しました。

その後、実用的な開発フェーズに進むためには大きな壁がありました。時期としては丁度リーマンショック直後の大不況時期であり、半導体産業再編の最中でもありました。幸いにして日立の小高氏、内山氏、木村氏などの応援団にも支えられ新たな国プロへの参画機会にこの技術も取り上げてもらえるようになりました。

'10 年より、超低電圧デバイスプロジェクトの一テーマとして 0.4V で動作する超低消費電力マイコンを新たなターゲットとして開発が再開されました。この 0.4V という目標は種々の経緯で設定された値ではありますが、CMOS 集積回路のエネルギー効率が最低になる電圧域であり、電池や環境発電により動作するセンシング端末など、限られたエネルギー源で最大限の動作をさせることを狙ったものです。'12 年頃より IoT という世界的潮流が起こる中で、その端末部分に適用できる技術という位置づけも加わりました。プロジェクト終了後に速やかに実用化出来ることを念頭に、プロセス開発はルネサスエレクトロニクスの製品ラインで行いました。開発開始直後に発生した東日本大震災で甚大な被害を受けた工場を短期間で復活させるなど、関係者の多大な努力には頭が下がります。

実用的なプロセスに仕上げるのと同時に重要な開発項目が集積回路設計基盤の開発でした。このために、東大 VDEC を始めとする多くの大学や国立研究機関の先生方

にご協力を頂き、SPICE パラメータ（標準コンパクトモデル HiSIM-SOTB）取得、セルライブラリ構築、チップ設計フロー構築と検証を進めました。Mb 級 SRAM の 0.37V 動作を皮切りに、マイコン、FPGA やアクセラレータなど各種チップの超低電圧動作実証を行い、共同研究機関により信学会にも多くの報告がなされました。東大 VDEC による SOTB チップの共同試作は現在も行われており、産学連携の研究活動に寄与できていることも喜ばしいことです。なお、このプロジェクトの成果は、増原氏、住広氏などのリーダーシップと、チップ設計・試作に要した多額な資金に対する NEDO 関係者によるご協力の賜物です。

開発した技術世代が一貫して 65nm 相当であったことを前述しました。CMOS 集積回路の動作あたり消費エネルギーを考えると、図 2 のように、電圧の二乗に比例する動作エネルギーと定常的なリークエネルギーが均衡する電圧でエネルギーが最低になります。言い換えると、リークの大きいプロセスでは相対的に最低エネルギー自体とそのときの動作電圧がどうしても高くなります。CMOS 微細化が 65~40nm までは何とか超低リークプロセスが実現できますが、それ以降は FDSOI などであっても実現困難な領域になります。高クロック周波数が必要な用途においては多少リークが大きくても最先端プロセスを用いる合理性があります。一方で、クロック周波数がそれほど高くない IoT 向けチップなどに対しては、現時点では SOTB で適用している 65nm あたりが超低リークで消費エネルギーを最小化できる最も微細なプロセスになるかと考えています。微細化がいよいよ終焉する今後は、用途に応じて最適な技術世代への棲み分けが明確になると考えており、消費エネルギー的に最も得な 65~40nm あたりの SOTB が IoT 向けチップの黄金世代になることを期待するものです。

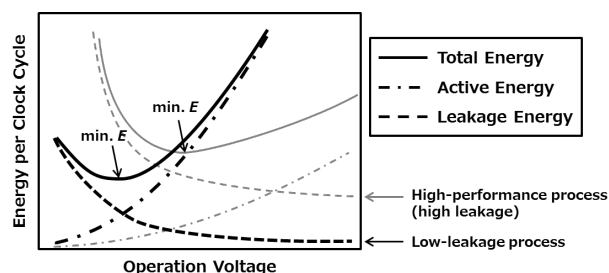


図 2 CMOS 集積回路消費エネルギーの動作電圧依存性
最後に、本研究のデバイス開発に際してルネサスエレクトロニクス(株)関係者、回路設計環境開発に際しては東京大学 VDEC 始め大学・国立研究開発法人研究者の多大なご支援を頂きました。この場を借りて深く感謝申し上げます。本研究成果の一部は、文部科学省、JST、経済産業省、NEDO の委託研究によるものです。

著者略歴：

土屋 龍太

1998 年東京工業大学総合理工学研究科材料科学専攻博士課程修了(工学)。1998 年(株)日立製作所中央研究所入社。以来、高速・低電力 CMOS デバイスの研究開発、2008 年より高効率太陽電池、2012 年より SiC パワーデバイスの開発、2013～2015 年日立ケンブリッジ研究所にて、量子コンピュータ、スピントロニクスの研究開発に従事。現在は、研究企画戦略業務に従事。

杉井 信之

1986 年東京大学工学部工業化学科卒業。1988 年同大学院化学エネルギー工学専攻修士課程修了。1995 年博士(工学)。1988 年(株)日立製作所中央研究所入社。以来、酸化物超伝導材料・デバイスの研究開発、1996 年より SiGe/歪 Si CMOS デバイス、SOTB の開発。2010～2015 年超低電圧デバイス技術研究組合兼務。現在は MEMS 等センシングデバイス・システムの開発に従事。2004～2015 年東京工業大学大学院総合理工学研究科連携教授。2002～2004 年および 2014 年～国際固体素子・材料コンファレンス論文委員、2012 年～VLSI シンポジウムプログラム委員、2011

年～ IEEE S3S (SOI) Conference 委員。2015 年応用物理学会フェロー、IEEE EDS シニアメンバー、信学会会員。

蒲原 史朗

1986 年慶応義塾大学物理学科卒業、1988 年東京工業大学原子核工学科修士課程修了、2008 年首都大学東京電気電子工学科博士課程修了。1988 年(株)日立製作所中央研究所入社。プロセス/デバイスシミュレータの開発に従事。1995 年同社半導体事業部に転属。プロセス、デバイス、信頼性のモデリング&シミュレーションに従事。また、DRAM、SRAM、Logic、RF パワーMOS のデバイス設計に従事。1996～1997 年 University of California at Berkeley の客員研究員として、デバイス物理の研究に従事。2003 年(株)ルネサステクノロジ設立に伴い、同社へ転属。先端製品の歩留向上、不良解析、デバイス設計に従事。2006～2010 年(株)Semiconductor Leading Edge Technologies 兼務。MIRAI-PJ/ロバストトランジスタプログラムに参加。デバイスのばらつきメカニズム解明に従事。2010～2015 年超低電圧デバイス技術研究組合兼務。SOTB の開発に従事。



【寄稿】(エレクトロニクスソサイエティ賞受賞記)

光半導体およびフォトニクス分野

「周期分極反転ニオブ酸リチウム導波路を用いた 位相感応増幅器の先駆的研究」

遊部 雅生 (東海大学)

梅木 毅伺、忠永 修 (日本電信電話株式会社)



この度、平成 28 年度のエレクトロニクスソサイエティ賞をいただき、大変光栄に存じます。エレクトロニクスソサイエティの皆様、推薦いただきました皆様、選考委員の皆様へ深く感謝申し上げます。

今回受賞の対象になったのは光通信の分野においてかして低雑音な光増幅器を実現するかという研究テーマから生まれた成果です。光通信の分野では昨今の IT 技術の進展を支えるために、1980 年代頃より目覚ましいスピードで研究開発が進んできており、黎明期の頃と比較して光ファイバでの伝送容量は 5 ケタ近くもの改善が図られてきました。今後も増大が予想される通信トラフィック量の要求に応えるためにはさらなる技術革新が期待されています。しかしながら大容量化に向けた本質的な課題として、最近光ファイバで伝送する信号の信号雑音比 (S/N 比) の限界による伝送容量の限界が指摘されています。これは現在の光通信に用いられている光増幅器が発生する雑音と光ファイバの非線形効果が原因であることが分っています。この限界を超えるための技術として従来とは異なる原理に基づく低雑音の光増幅器が有用なのではないかと考えています。

従来の光増幅器では理想的な場合であっても出力の S/N 比が半分劣化するのに対して、我々が研究している位相感応型光増幅器 (PSA: Phase Sensitive Amplifier) では理論的には増幅前後で S/N 比を劣化させずに増幅を行うことができることが以前より知られていました。PSA は非線形光学効果の一種である“パラメトリック増幅”を用いて増幅を行うのですが、従来効率の良い非線形光学媒質がなかったために、巨大なレーザを用いた原理確認実験が行われるだけで、光通信への適用を検討できるような技術ではありませんでした。

我々は 1990 年代半ば頃から効率の良い非線形光学媒質の研究を進めてきており、高い非線形光学効果が得られる周期分極反転 LiNbO₃ (PPLN: Periodically Poled LiNbO₃) を異種ウエハ上へ直接接合することにより導波路構造を形成する独自の技術を開発しました。LiNbO₃ に導波路を形

成する方法としては Ti 拡散やプロトン交換などの方法が一般的ですが、これらの方法では結晶中の欠陥が多くなるため、フォトリフラクティブ効果による光損傷が生じてしまいます。一方ウエハ接合法により作製した PPLN 導波路は、結晶中の欠陥が少ないため、高い入力パワーに対する損傷耐性に優れ、安定した特性が得られるようになりました。さらに LiNbO₃ のドライエッチングによるリッジ導波路の形成技術を立ち上げ、高いパワー密度が得られるようになったために、高効率な非線形光学効果が得られるようになりました。PPLN 導波路の研究に着手した頃には NTT 研究所内では光ファイバの非線形効果を用いた PSA の先駆的研究が高田氏 (現徳島大教授)、今宿氏 (現近畿大准教授) らによって進められており、PSA への適用も念頭に置いて研究を進めていましたが、残念ながら当時の素子の効率では十分な利得が得られませんでした。素子の作製技術の研究が軌道に乗り始め、いよいよ応用研究にも着手しようとしていた時期に、2000 年頃の IT バブルの崩壊があり、研究所の中に“今研究しているものを通信以外の分野にも展開できないか?” という機運が生まれました。その影響もあり PPLN 導波路の研究は通信用デバイスから、通信用半導体レーザを他の波長に変換して通信分野以外でビジネス化するという方針に大きく舵を切ることになりました。この頃は高効率な波長変換のできる PPLN 導波路を信頼性のある技術として仕上げるということに重点を置いて研究開発を進めました。その甲斐があって、PPLN 導波路と通信用半導体レーザを組み合わせた波長変換レーザはレーザ蛍光顕微鏡用の励起光源として実用化に至りました。この開発を行っている間、PSA を始めとする基礎的な研究は一旦棚上げしていましたが、実用化を行ったおかげで、素子の効率やモジュール化等の周辺技術のレベルが相当に進んでいたため、2010 年頃には光通信の研究に用いるような実験機器で PSA の検討ができるようになっていました。

PPLN 導波路のような 2 次の非線形光学材料を用いてパラメトリック増幅を行うためには、増幅される信号光の約

半分の波長をもつ励起光を用いる必要があります。そこで、PPLN に 1.55 μm 帯の光を入射し第二高調波発生(SHG)によって励起光を発生し、光ファイバで SH 光を取り出せるモジュールと、その SH 光と信号光である 1.55 μm 帯の光と SH 光を再び合波し、PPLN 導波路に入射してパラメトリック増幅を行うためのモジュールをそれぞれ作製し、この 2 つのモジュールを組み合わせて PSA の検討を開始しました。研究を始めた当初は、我々の PSA への理解が十分ではなく、1 つのレーザ光を分岐し、一方は光ファイバアンプで増幅して SHG 用のモジュールで励起光を生成し、他方のレーザ光と励起光をパラメトリック増幅用モジュールに入射するという極めてシンプルな構成で実験を試みました。当初は増幅は観測できるものの、利得が安定しませんでした。しかしこの現象は光ファイバの伸び縮みに伴う位相変化が原因であり、位相に応じた利得が得られる PSA の特徴が観測されていることに気がつきました。その後、位相安定化のための PLL 回路や伝送信号から搬送波位相を抽出し搬送波位相に同期した励起光を発生する技術などを開発することで、PSA の低雑音性の検証や伝送実験による有効性の検証などを行えるようになりました。今回の受賞は PPLN 導波路を用いた PSA の低雑音性や伝送実験による有効性を示したことを評価していただいたのではないかと感じていますが、そこに至るまでには上記のような綿々と続く技術開発の積み重ねがあつて初めて今回のような成果を生み出すことができたのではないかと考えています。我々にとって幸運だったと思えるのは、世の中の流れで研究の方向性が変化することはあつたものの、同じような技術に比較的長い時間関わって研究を続けてこれたことです。その結果として、いくつかの成果が生まれる瞬間に立ち会うという貴重な経験ができたと思っ

ています。このような機会を与えていただいた、旧 NTT フォトニクス研究所や NTT 未来ねっと研究所の同僚や諸先輩には改めて感謝申し上げる次第です。今後も今回の受賞を励みとして、微力ながら研究開発と教育に注力してまいりますので、宜しくお願いいたします。

著者略歴：

遊部 雅生

1987 年慶応義塾大学・理工卒。1989 年同大学院修士課程修了。同年日本電信電話株式会社入社。以来、非線形光学効果を用いた光スイッチ、波長変換素子、及び超高速光伝送方式の研究に従事。2013 年より、東海大学工学部 電気電子工学科教授。博士(工学)。2014 年 フジサンケイアイ先端技術大賞 産経新聞社賞受賞。The Optical Society、応用物理学会、レーザ学会各会員。

梅木 毅伺

2002 年学習院大学理学部卒。2004 年東京大学大学院修士課程修了。同年日本電信電話株式会社入社。以来、非線形光学デバイスを用いた光信号処理技術の研究に従事。博士(学術)。2014 年フジサンケイアイ先端技術大賞 産経新聞社賞受賞。応用物理学会、レーザ学会各会員。

忠永 修

1993 年京都大学工学部金属加工学科卒業、1995 年同大学院工学研究科金属加工学修士課程修了。同年日本電信電話株式会社入社。以来、面型光変調器、面発光レーザ、波長変換素子の研究・開発に従事。博士(工学)。2014 年フジサンケイアイ先端技術大賞 産経新聞社賞受賞。応用物理学会会員。



【寄稿】(エレクトロニクスソサイエティ賞受賞記)

エレクトロニクス一般

「エレクトロニクス実装用電子セラミック材料およびプロセスに関する先駆的研究開発」



今中 佳彦 (株)富士通研究所)

このたびは、エレクトロニクスソサイエティ賞という名誉ある賞を頂き、大変ありがとうございます。エレクトロニクスソサイエティ会長、審査頂きました先生方、ならびに事務局の方々など関係者には、御礼とともに深く感謝申し上げます。

昨今、半導体技術の進歩・発展とともに、エレクトロニクス技術開発が継続的に推進され、コンピュータの高性能化と小型化等の技術革新が成し遂げられ、半導体素子が組み込まれたエレクトロニクス電子機器があらゆる分野に浸透し、人間中心の豊かな暮らしが形成されてきました。エレクトロニクス実装技術は、半導体チップからシステムへの橋渡しする技術であり、半導体技術の性能を最大限に引き出しながら、社会ニーズ・要求に応じていく役割を担っております。デバイス技術とシステム技術の中間的な位置し、社会動向に対応しながら、研究の方向を見定める必要があるために、大学の学術領域に組みにくい分野であり、エレクトロニクス分野の民間企業が、これまで先導的に研究開発を進めてまいりました。その中でも、セラミックスを用いたエレクトロニクス実装分野の技術開発は、日本の大手エレクトロニクス関連会社の寄与が大きいといえます。

以下には、実装技術の2大潮流であるハイエンドコンピュータ分野とコンシューマプロダクト分野における基板・パッケージレベル部分のセラミック材料・プロセス技術を中心とした実装技術についての過去を振り返りながら、我々が先駆的に切り拓いてきた研究開発内容に触れたと思います¹⁾。

日本のエレクトロニクス実装用電子セラミックの夜明けは、実質的に、1980年にIBMが発表したメインフレームコンピュータ3081とともに始まったと言えます。IBM 3081には、冷却ジャケットと一体化したTCM(Thermal Conduction Module)が使用され、このモジュールの中核をなすCPUボードには、モリブデンを配線材料とする酸化アルミニウムセラミックの小型の多層回路基板が初めて適用されました。当時、日本のコンピュータメーカーは樹脂プリント配線基板を用いており、実装技術の分野で大き

く遅れをとりました。これ以降、モリブデンより電気抵抗が低い金属を配線に使用し、酸化アルミニウムより誘電率が低い大型の多層セラミックの研究開発が盛んになりました。配線材料には、プリント配線基板に使用されており、今日ではLSIの配線にも用いられている銅が最も望ましいものの、銅は他の金属と比べると融点(1083℃)が低く、酸化しやすいために、一般に1000℃以上の酸化性雰囲気の高温で処理するセラミックと同じ製造プロセスを適用することは困難でした。我々は、銅の融点以下で焼結できる低誘電率の低温焼成セラミックを創製するとともに、銅とセラミックを同時に焼成するプロセス(現在では、低温焼成セラミックを金属と一体焼成することをLTCC(Low Temperature Cofired Ceramics)と呼んでいます)を世界で初めて開発し、IBMに先んじて銅を配線材料とした大型多層セラミック回路基板の開発に成功しました(図)。1990年には、富士通の大型汎用コンピュータM1800にこの回路基板を適用し、当時の世界最高性能のコンピュータの実現へ対して、多大な貢献をしました。本技術の詳細は、基本特許が満了となった2005年に関連したセラミック材料・プロセス技術を体系化した英文書籍の中に記しており、国際的にも高い評価を得ております(2010年中国語翻訳書籍も発刊)²⁾。

1990年代半ばまで、トランジスタの主流であったバイポーラは、高集積化が進むにつれ、素子の発熱量が増大し、熱伝導モジュールなどを駆使したセラミック基板を用いても冷却が困難になってきました。そこで、低消費電力の半導体CMOSの微細化・集積化技術開発に力が注がれました。そして、1994年にIBMはCMOSプロセッサを搭載したメインフレームコンピュータを発表しました。CMOSはスケーリング則に従い、微細な配線ルールを適用することにより高速化の実現が可能であり、これ以降、ハイエンドコンピュータ用基板には、熱的特性よりCMOS LSIの微細回路・端子に対応できる微細配線技術を施した基板が求められ、セラミックはそのメリットを活かすことができなくなり、ポリイミド樹脂の薄膜基板やエポキシ系樹脂ビルドアップ基板などが主流へと移り変わりました。しかしな

がら、現在、CMOS は微細化が一層進み、90 年代前半のバイポーラトランジスタ並みの発熱密度を有しており、ハイエンドコンピュータ用の LSI パッケージには、再びセラミックス (LTCC 技術) が適用されております。

一方、コンシューマ向けの実装基板は、1990 年代までプリント基板が主流であり、能動・受動部品が基板にはんだ接続されておりました。時代とともに、表面実装 (SMT: Surface Mount Technology) の高密度化が急速に進行しました。2000 年代頃から、携帯電話の多機能化に向けた技術革新が進み、ワンセグ視聴、GPS、高画素カメラ機能、音楽ダウンロード、各種無線 LAN などの機能が装備され、これらの多機能化の追求と同時に端末の薄型化が求められ、ハード技術の一層の変革が追求されました。モジュール用樹脂基板については、搭載部品の小型化と表面実装密度に限界が生じ、小型・薄型・高集積・低コストを実現できる新しい技術 (電子部品を基板の中に埋込む部品内蔵基板) の導入が模索されました。次世代のモジュールとしては、近年、注目されているウェアラブル電子機器の一層の高性能化のため、折曲げ可能なフレキシブルな薄い樹脂シート上に膜状のキャパシタなどの受動素子を形成することが求められています。しかし、従来、受動素子の構成材料であるセラミックスは製造プロセス温度が 1000°C 程度と高く、脆いために、このような受動素子の機能を有するセラミック膜をやわらかい樹脂シート (耐熱温度: 200~400°C) 中に組み込むことは不可能と考えられていました。富士通では、セラミックスの表面凝集エネルギーを高めたナノ粒子を中間原料に用いることで、樹脂の耐熱温度以下、かつ金属の融点以下の低温で結晶性に優れた電子セラミック結晶膜を形成する手法を見出し、併せて、その膜形成のメカニズムを解明しました。この研究成果により、低温形成セラミック膜に対して、ドライエッチングおよび化学エッチングを用いた微細孔加工技術や多層化プロセスを導入することも可能となり、従来困難であった銅を内部配線とした多層セラミック構造を低温でフレキシブルシート上に形成できるようになりました³⁾。また、膜内部のナノ複合構造を制御することで、多層構造中の樹脂・セラミックス・金属の界面で高い信頼性が得られることも明らかにしました。

この電子セラミックの低温形成技術は、電子機器のウェアラブル化・薄型化・高性能化の他、実装コストの低減や地球環境における CO₂・エネルギー削減に対する寄与が期待されます。さらに、環境・エネルギー用途のデバイスへの適用も期待されております⁴⁾。

将来は、センサーネットワーク、クラウドコンピューティング、ビッグデータ解析、人工知能 (AI)、セキュリティなどの様々なエレクトロニクス技術と環境・エネルギー技術がすべてつながっていく社会が構築されていくものと考えられます。これからの社会に向けて、エレクトロニクス (Electronics)・環境 (Environment)・エネルギー (Energy) の技術革新のための研究開発を、引き続き、進めていく所存です。

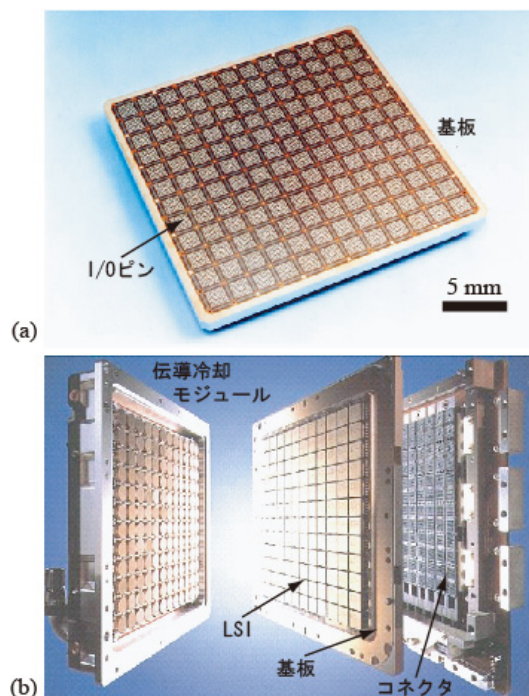


図 (a) メインフレームコンピュータ用多層セラミック回路基板 (245×245 mm、厚さ: 13 mm、層数: 61)、(b) 伝導冷却モジュール

参考文献

- 1) 今中佳彦「エレクトロニクス実装分野のセラミック材料・プロセス技術 ―過去・現在・未来―」(招待論文), 電子情報通信学会論文誌 C Vol.J95-C No.11, 254~262, 2012 年 11 月.
- 2) Y. Imanaka, Multilayered Low Temperature Cofired Ceramics (LTCC) Technology, Springer-Verlag, 2005 年 1 月.
- 3) Y. Imanaka et.al, Nanoparticulated Dense and Stress-Free Ceramic Thick Film for Material Integration, Adv. Eng. Materials Vol. 15, 11, 1129-1135, 2013 年 11 月.
- 4) Y. Imanaka et.al, An artificial photosynthesis anode electrode composed of a nanoparticulate photocatalyst film in a visible light responsive GaN-ZnO solid solution system, Scientific Reports, in press, doi:10.1038/srep35593, 2016 年 10 月.

著者紹介：

(株)富士通研究所 デバイス&マテリアル研究所 主管研究員。
九州大学工学部卒業、リーハイ大学大学院(米・ペンシルバニア州)修士課程修了、九州大学総合理工学研究科博士後期課程修了[博士(工学)]。2006年 Richard M. Fulrath Award、2007年 内閣府産官学功労者科学技術政策担当大臣賞、2011年 日本セラミックス協会賞技術賞、2013年 日本ファインセラミックス協会産業振興賞、2015年 文部科学大臣表彰科学技術賞(研究部門)を受賞。

アメリカセラミックス学会フェロー、日本セラミックス協会フェロー。

専門：半導体実装材料・技術(電子セラミックス、メタライズ)、低温同時焼成セラミックス LTCC、受動部品(キャパシタ、高周波フィルタ)、ナノ粒子技術、エネルギー創成技術。

著書：Multilayered Low Temperature Cofired Ceramics (LTCC) Technology (Springer 2005年、中国語版 2010年)。



【寄稿】（エレクトロニクスソサイエティ招待論文賞受賞記）

「マイクロ波電力増幅器の統一的设计理論とその応用」の背景と経緯について



本城 和彦（電気通信大学）

この度、エレクトロニクスソサイエティより、本城和彦、高山洋一郎、石川亮の3名の連名で執筆した招待論文“マイクロ波電力増幅器の統一的设计理論とその応用”に対して招待論文賞という栄えある賞を頂き大変光栄に思っております。この三名を代表しまして、私からこのような論文を書くに至った経緯や今後の展開などについて述べたいと思います。

我が国において、マイクロ波を用いた装置がレーダとして初めて実用化されてから今年で74年になります。マイクロ波の開発には紆余曲折がありましたが、数多くの研究者・技術者が幾世代に亘って関与し、今日の発展を見ております。このようなマイクロ波技術の中核をなすもの一つに電力増幅器技術があります。マイクロ波電力増幅器は、通信やレーダ用送信機など情報伝送・リモートセンシングの分野だけでなく、小型DC/DC変換器、無線電力伝送、電磁加熱などパワーエレクトロニクスの分野でも重要なコンポーネントです。

このようなマイクロ波電力増幅器の第一義的な機能は、直流電力をマイクロ波に高効率で変換することにあります。歴史的にこのような機能の実現は、マグネトロンやインパットダイオードなどを用いたマイクロ波発振器を起源に持つ系統と、進行波管（TWT）のように電子ビームとマイクロ波の分布的相互作用を用いるもの、さらに高周波用の板極真空管の増幅特性を用いる系統の3つに大別され、その技術の流れはそれぞれ現在に脈々と引き継がれています。特に上記3番目の板極管の系統は、立体回路から小型平面回路化・集積化への質的転換をし、低周波でのトランジスタ増幅理論を経て HEMT、HBT などの化合物半導体デバイスや微細 CMOS 技術をベースとした RFSi デバイスを用いたマイクロ波・ミリ波増幅器理論へと引き継がれてきています。ただし我が国の場合、欧米と異なり、増幅器研究をライフワークとしている技術者は比較的少なく、私達を含めデバイス開発やシステム開発の必要性からその都度それに合わせて増幅器の研究開発を行うというスタンスが多いように思われます。

このような経緯があるとともに、そもそも非線形現象を扱った複雑な事象であり、さらに皆様もご存じのように、

増幅器には A 級、B 級、C 級、D 級、E 級、逆 E 級、F 級、逆 F 級を始めとし J 級や R 級等多くの分類がされ、その動作の説明も、あるものは周波数領域を無視した時間領域の説明であったり、あるものは時間領域を無視した周波数領域の説明であったり、またあるものは単に直流バイアスの印加方法を示しているにすぎないものなど、大変分かりにくいものとなっています。例えば、B 級増幅器の概念で出てくる半波整流電流波形を考える以上は、直流から無限次までの電流周波数成分を考慮することを前提としていますが、マイクロ波ではこれを実回路で実現することは難しいことなどが挙げられます。また、寄生リアクタンスを内部に持たないトランジスタにおいて、時間領域の瞬時ドレーン電流および瞬時ドレーン電圧がトランジスタ静特性の第四象限に入ることありません。

そこで本論文では、一般に物理量として保存されるエネルギー、運動量、角運動量の3要素の内、少なくともエネルギー保存の原則に立った増幅器の設計理論の構築を試みました。すなわち、直流供給電力、基本波入力電力といった増幅器に入力される電力と、基本波出力電力、高調波出力電力、発熱から構成される出力が、平均時間内でエネルギー的にバランスされるという視点から説明を出発しています。ここから生まれる設計ガイドラインは、高調波負荷を純リアクタンス化してこれを無効電力化し、基本波の出力電圧振幅・出力電流振幅に余裕を持たせ、基本波力率を調整することにより、直流入力電力と基本波出力電力をバランスさせることにより発熱の余地をなくして 100% の電力効率を目指すことにあります。この時の最適負荷インピーダンスをスミス図上に表示すると、高調波負荷はスミス図の外周上にあり、基本波の負荷は等力率線上にあります。このときの寄生リアクタンスを含まない真性部トランジスタの瞬時ドレーン電流・ドレーン電圧の関係は上述のようにトランジスタ静特性範囲に常在する制約があります。

このように考えると、例えば F 級増幅器の高調波負荷として必要な偶数次の零インピーダンスと奇数次の無限大インピーダンスは伴にスミス図外周上の特異点を表していることに気づきます。また A 級、B 級、C 級の概念では

高調波の負荷条件が無視されていることが分かります。また一般的な時間領域での E 級や逆 E 級増幅器の説明では高調波に関する記述が不明確であり、理論通りの高効率動作を実現する場合には高調波に対する工夫が追加が必要となることも分かります。

さらにマイクロ波帯・ミリ波帯など周波数が高くなると、小さな浮遊容量、浮遊インダクタンスが大きな寄生リアクタンスを生じさせ設計誤差を生じさせます。このため、能動素子に付随する寄生素子による影響を排除・中和をしながら上記最適設計を行う技術が必要です。このような設計は基本波の負荷となる抵抗が高調波では零インピーダンスと見なせる短絡共振回路を付加したのち、純リアクタンス回路と見なせる高調波負荷回路に交互に現れる零点と極を適切に所望値に誘導することにより行えます。つまり、複雑な電力増幅器の最適設計のような現実的な非線形問題を、古典的線形回路理論を駆使して解決することができます。本論文で提唱された統一的設計理論を駆使して設計試作した GaNHEMT マイクロ波電力増幅器では、5.65GHz において出力 2W でドレイン効率 90% という高性能が達成されてその有効性が示されています。

ここまでは直流からマイクロ波への高効率な電力の流れについて説明しましたが、時間反転双対原理に従うと電力の流れを逆転させ、マイクロ波から直流への電力の流れを実現することもできます。時間反転双対とは、例えば電力分配器を逆の向きに使うと電力合成器としても使えることから理解できます。時間反転双対の定義は、電流の向きが逆で、電圧の向きは同じになり、時間軸に対して波形が反転している状態をいいます。すなわち $i(t) \rightarrow -i(-t)$ で $v(t) \rightarrow v(-t)$ を意味し、高出力増幅器などトランジスタの大信号スイッチング動作を含む回路の場合には、出力側から信号を逆注入するとともにトランジスタのスイッチングタイミングを逆相とすることで実現できます。この場合のエネルギーバランス方程式は増幅器のものと同じですが、パワーフローが逆転します。すなわち、最適に設計された高効率増幅器は最適に設計された高効率整流器として動作することを意味しており、増幅器の統一的設計理論は整流器の統一的設計理論と同じであることを意味し、“統一”の意味がより広いものであることが分かります。本論文ではこのような設計事例についても説明しています。

マイクロ波電力増幅器には小さい制御（入力）電力で第一義的機能である直流・マイクロ波電力変換を行うことが必要です。もともとトランジスタ (Transistor) の語源は Transfer Resistor からきており、入力側の低抵抗領域で発生した電流が、そのまま高抵抗領域へ遷移し、入力と出力における有能電力比を入力抵抗と出力抵抗の比から確保できるように PN 接合やショットキー接合、オーミック接合など基本構造をシステムチックに半導体チップ内に組み上げることから実現されます。もともとこの概念はバイポーラトランジスタから発したのですが、電界効果トランジスタの動作も電力利得の観点でみると、相互コンダクタンスによる電圧電流変換機能を加えれば同様な原理となっています。このような概念は一つのトランジスタによってのみ定義されるものではなく、複数のトランジスタを直接合成することによっても実現でき、トランジスタの機能を一層強化することができます。このような例として、独立バイアス化された CASCODE 増幅器により歪みや電力効率のトレードオフ関係を改善する方法や、負荷変調回路として四分の一波長線路を用いない直接結合型ドハティ増幅器により広帯域で高出力バックオフ時に広帯域で高電力効率を実現できる例などを示しています。

今後、より本質に迫る洗練された増幅器理論が出現し、さらにこれらの理論をトランジスタの改善にも活用して、全ての増幅器の電力効率が 100% に近づき、関連する産業が一層発展することを望みます。

著者略歴：

1974 年電通大卒、1976 年東工大大学院修士課程了、同年日本電気株式会社中央研究所入所。超高速デバイス研究部長、主席研究員を経て、2001 年電気通信大学情報通信工学科教授、2014 年より、情報理工学部長、情報理工学研究科長を歴任。IEEE MTT-S 理事 (1997~2003)、Japan Chapter Chair (2011~2012)、本会マイクロ波研究専門委員長 (2009~2011)。マイクロ波半導体回路、化合物半導体デバイス、電磁波伝送デバイスの研究開発に従事。1980 年本会学術奨励賞、1983 年および 1988 年 IEEE MTT-S Microwave Prize 受賞。1999 年本ソサイエティエレクトロニクス賞受賞。IEEE Life Fellow。工博。

「完全カノニカル形 Cul-de-Sac 結合に基づく
有極帯域通過フィルタの設計」

加藤 駿祈 (埼玉大学)

この度は荣誉あるエレクトロニクスソサイエティ学生奨励賞を授与頂き、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いただきました大平昌敬准教授、馬哲旺教授、ならびに関係者の方々に厚く御礼申し上げます。



近年、無線通信技術の発展に伴い、周波数資源の有効利用が課題となっております。マイクロ波帯域通過フィルタでは、より汎用的な有極フィルタの設計手法として、一般化チェビシェフ関数を特性関数に用いた共振器並列形フィルタ回路の回路合成方法が提案されています。この回路合成法を用いれば任意の有限周波数に伝送零点を生成することで急峻なスカート特性を実現できます。しかし、共振器並列形フィルタ回路は共振器を並列接続して構成されるため、物理構造で設計することは困難であるとされてきました。

そこで本研究では、共振器並列形フィルタ回路の結合トポロジーと等価である完全カノニカル形 Cul-de-Sac 結合を実現するフィルタ構造を提案しています。この結合トポロジーを実現するためには、負荷と共振器の間に負結合が要求されます。そのため、半波長共振器の終端を開放または短絡構造による偶奇モード共振を用いることで必要な正負の結合を実現しました。これによって飛越結合を一切用いずに隣接する共振器間の結合係数の評価のみによる有極フィルタの設計を初めて可能にしました。

今回の受賞を励みとして、より一層の精進を重ねて参ります。今後とも皆様のご指導ご鞭撻のほど、どうぞよろしくお願い申し上げます。

著者略歴：

平成 27 年埼玉大学工学部電気電子システム工学科卒業、同年より同大学院理工学研究科数理電子情報系専攻電気電子システム工学コース博士前期課程在籍中。

平成 27 年マイクロ波研究専門委員会主催「2015 年度学生マイクロ波回路設計試作コンテスト」50dB 減衰部門最優秀賞受賞。

「開放および短絡スタブを併用した
有極形広帯域帯域通過フィルタの設計」

濱野 竜飛 (埼玉大学)

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授与頂き、大変光栄に存じます。ご推薦下さいました学会関係者の皆様方、また日頃から熱心にご指導頂いております馬哲旺教授、大平昌敬准教授には厚く御礼申し上げます。



今回受賞対象となりました「開放および短絡スタブを併用した有極形広帯域帯域通過フィルタの設計」は、急峻な遮断特性を持つ広帯域帯域通過フィルタ(BPF)の設計に関する報告です。近年、種々の高速大容量無線通信技術の発展に伴い、広帯域 BPF に関する研究開発が盛んに行われ、多くの新しいフィルタ構造と設計法が提案されています。なかでも、短絡スタブを周期的に配置した構造は、微細な結合構造がなく製作が容易という利点があることから、広帯域 BPF の設計によく用いられます。しかし、この構造は、阻止域に伝送零点がなく、急峻な遮断特性を得るためには共振器段数を増やす必要があり、それに伴ってフィルタサイズが大きくなってしまいう問題がありました。

そこで本研究では、短絡スタブのみで構成される従来のフィルタ構造において、短絡スタブの 1 つを Stepped Impedance 開放スタブに変換した新たな構造を提案しております。提案した構造は、共振器段数を増やすことなく阻止域に複数の伝送零点を生成できます。また、理論解析により導出した設計公式を用いて、容易に伝送零点を所定の周波数に設計することも可能です。これらの技術によって周波数選択性の優れた広帯域 BPF を実現しました。

今回の受賞を励みとして、一層精進して参りたいと考えております。今後とも皆様のご指導ご鞭撻のほど、何卒よろしくお願い申し上げます。

著者略歴：

平成 27 年埼玉大学工学部電気電子システム工学科卒業。現在、同大学大学院博士前期課程在学中。マイクロ波フィルタに関する研究に従事。

平成 27 年マイクロ波研究専門委員会主催「2015 年度学生マイクロ波回路設計試作コンテスト」低損失部門優秀賞受賞。

「InP モノリシック集積偏波アナライザの提案と試作」

川端 祐斗 (東京大学)

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まして、大変光栄に存じます。本研究にあたりご指導を賜りました中野義昭教授、種村拓夫准教授、ならびに関係者の皆様に深く御礼申し上げます。



光通信における偏波状態の利用は、これまでも偏波多重方式として広く用いられていました。近年では、その偏波状態を多重ではなく変調に利用する偏波変調方式が注目されており、光の偏波状態の観測にはコヒーレントシステムが不要であり、その特性から QPSK などの位相変調方式と比較して低コストかつ、強度変調と比較して大容量の通信が可能であると見込まれております。しかし、実用的な光通信デバイスのための小型化、低コスト化が可能となる半導体光素子での送受信器の実現には至っていないのが現状です。

今回受賞いたしました「InP モノリシック集積偏波アナライザの提案と試作」では、InP 半導体基板上の導波路上に、当研究室より提案されたハーブリッジ型の偏波変換構造を適切に配置することによる、あるストークスペクトル成分を他の軸成分に変換する構造を提案しました。また、その構造を実際に半導体チップ上に作製することで、機能を実証することに成功しました。今後の展望として、量子井戸構造のような光吸収の偏波依存性の大きいディテクタと集積することにより、偏波状態を電流値として測定することが可能になると見込まれます。また、同じく半導体を用いた偏波変調送信器と組み合わせた偏波変調光通信システムが半導体基板で実現されることが期待できます。

今回の受賞を励みとして、より一層の精進を重ねて参ります。今後とも皆様のご指導ご鞭撻のほど、どうぞ宜しくお願い申し上げます。

著者略歴：

平成 26 年東京大学工学部電気電子工学科卒業。平成 28 年、東京大学大学院工学系研究科電気系工学専攻修了。同年より東日本電信電話株式会社にて勤務。

「60GHz 帯集積型フォトニックアレーアンテナにおける 3.5-Gbit/s QPSK RoF 信号伝送」

平澤 崇佳 (東京工業大学)

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受賞することができ、大変光栄に存じます。ご推薦下さいました学会関係者の皆様に感謝申し上げます。また、常日頃から熱心にご指導頂きました秋葉重幸連携教授、安藤真教授、広川二郎教授をはじめ、ご協力頂いた研究室の皆様、他研究室の皆様にも深く御礼申し上げます。



本研究室では無線基地局における電波干渉の低減と無線基地局の小型化・省電力化を目的とし、Radio-over-Fiber (RoF) 技術と光ファイバの波長分散効果・波長可変光源・Uni-traveling carrier photodiode (UTC-PD) を組み合わせたアンテナビーム制御方式の検討に取り組んできました[1]。今回受賞対象となりました「60GHz 帯集積型フォトニックアレーアンテナにおける 3.5-Gbit/s QPSK RoF 信号伝送」は、UTC-PD 一体集積型 60 GHz 帯アレーアンテナ (Integrated Photonic Antenna : IPA) [2]と、RoF によるアンテナビーム制御技術による、信号伝送の実験的報告です。

本ビーム制御方式は、伝搬路の信号遅延量を RoF 光波長可変により制御する RF 移相器が不要な方法を採用しております。また IPA はアンテナ給電点に UTC-PD チップが直接搭載されており、RF 伝搬損失を抑え高出力な PD のみでアンテナ給電可能となっています。本実験では IPA 内 PD がバイアスフリーの条件下で 3.5 Gbps QPSK 信号伝送の実証に成功し、ビーム走査時の光波長制御量と RF 受信信号品質の関係を明らかにしました。RoF 信号以外電力供給の無い PD とアンテナのみの簡素な局構成の実現は、今後増加する無線トラフィックに追従するインフラ拡充問題の解決策の一つになると考えられます。

今回の受賞を励みとし、一層研究開発に邁進していきたいと思います。今後ともご指導、ご鞭撻の程よろしくお願いたします。

[1] S.Akiba et al., Proc. OFC2014, W2A.51, March 2014.

[2] T.Hirasawa et al., Proc. MWP, TuP-14, Oct. 2015.

著者略歴：

平成 28 年東京工業大学電気電子工学専攻修士課程修了、同年日本電信電話株式会社 ネットワークサービスシステム研究所入社。

【寄稿】(エレクトロニクスソサイエティ学生奨励賞受賞記)

「電流不連続モード Single-Inductor Dual-Output DC-DC コンバータにおけるヒステリシス制御による高速応答化の実証」

山内 善高 (東京大学)

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くことになり、大変光栄に思います。ご推薦くださいました学会の皆様方に深く感謝申し上げます。また、日頃からご指導頂いております指導教員の高宮真准教授、ならびに桜井貴康教授、研究室の皆様には厚く御礼申し上げます。



Single-Inductor Dual-Output (SIDO) DC-DC コンバータは、1つのインダクタのみを用いた2出力電源回路です。オフチップ部品(インダクタ)の数を半分に減らせるため、特に小型化要求が強い用途に適しており、集積回路分野では近年注目されております。この SIDO DC-DC コンバータには、従来の単一出力 DC-DC コンバータと同様に、インダクタ電流が連続する電流連続モードと、断続的になる電流不連続モードの2つの動作モードが存在します。そのうち、電流不連続モードは、SIDO DC-DC コンバータに特有の問題である出力電圧間の干渉が生じません。また、低電力出力時の動作モードであることから、IoT (Internet of Things) など電池で駆動されるエネルギー制約の厳しい回路応用を考えた場合に重要になります。しかしながら、従来報告されている電流不連続モードの SIDO DC-DC コンバータは過渡応答が遅く、負荷の低消費電力化のために有効な電源電圧の高速な切り替えが難しいという課題がありました。受賞対象となった発表は、高速応答化が見込めるヒステリシス制御を電流不連続モード SIDO DC-DC コンバータに適用することを検討し、実際に 0.18 μm CMOS プロセスを用いて設計した集積回路の実測により、従来回路と比べて高速応答化できることを報告したものです。

今回の受賞を励みとして、より一層の精進を重ねて研究に取り組んで参ります。今後とも皆様のご指導ご鞭撻のほど、どうぞよろしくお願ひ申し上げます。

著者略歴：

平成 26 年東京大学工学部電気電子工学科卒業、平成 28 年東京大学大学院工学系研究科電気系工学専攻修士課程修了。現在、東京大学大学院工学系研究科電気系工学専攻博士課程在学中。

「磁気渦コアの運動検出と極性反転の計算機シミュレーション」

牙 曉瑞 (九州大学)

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。ご推薦頂いた学会関係者の方々、また本研究を遂行するにあたってご指導頂きました松山公秀教授、ならびに、研究室の皆様には厚く御礼申し上げます。



今回受賞対象となりました「磁気渦コアの運動検出と極性反転の計算機シミュレーション」は、磁気渦コアの運動解析と極性反転に関するマイクロマグネティックシミュレーション結果について述べた。近年、磁気渦コアの極性を情報担持体として利用する研究がなされている。磁気渦は薄膜面内に磁化が渦を巻くように安定化し、その中央の磁化は膜面に対し垂直方向に安定化する性質を持つ。これまでにサブミクロンスケールの円形・四角形のドットにおいて磁気渦がエネルギー的に安定化することが報告されている。磁気渦の磁化構造はコアの極性および渦の向きで定義され、コアの極性を直流磁界、スピン偏極電流、円偏波高周波磁界などで反転させる研究がなされている。高周波磁界により磁気共鳴を誘発することで極性反転を促す方法は省エネルギーであるが、メモリとして用いるには信号線による高周波磁界の発生と磁化挙動の検出が必要である。

本研究では、信号線形状およびサイズの最適化を行い、これによって発生する円偏波磁界を用いて磁気渦の共鳴を誘起することで信号の記録および電磁誘導による読み出し動作がエラーなく行えることをマイクロマグネティックシミュレーションで確認した。

今回の受賞を励みとして、一層の精進を重ね研究に励みたいと思います。今後とも皆様のご指導ご鞭撻のほど、何卒よろしくお願ひ申し上げます。

著者略歴：

2013 年、中国電気科技大学微電子と固体電子学部微電子技術学科卒業。2016 年現在、九州大学大学院システム情報科学府電気電子工学専攻修士課程在学中。



【寄稿】

「ELEX Review Paper の紹介」



高橋 宏行 (NTT)

電子情報通信学会のオンラインレター誌である Electronics Express (ELEX) は年に数回程度、エレクトロニクス分野における注目のテーマを選定して数編のレビュー論文を掲載しています。テーマ選定にご尽力いただいている編集委員の皆様や、レビュー論文執筆をご快諾頂きました皆様のご協力もあり、2011 年度から開始された本施策も 18 回を超えました。これまでに取り上げたテーマを下記にご紹介いたします。

- ・テラヘルツ技術
- ・メタマテリアル
- ・超伝導エレクトロニクス
- ・フォトニクス
- ・フォトニック結晶
- ・パワー半導体デバイス
- ・ワイヤレス給電
- ・先端 Si デバイス
- ・Si フォトニクス
- ・先端ミリ波技術
- ・光通信技術
- ・不揮発性メモリ
- ・受動マイクロ波回路
- ・太陽電池
- ・集積回路
- ・環境発電デバイス
- ・3D 集積デバイス
- ・光インターコネクト

いずれのレビュー論文も執筆当時の最新技術が分かりやすく解説、比較されており、研究を進める上での技術動向把握や自身の研究成果との比較に最適な内容となっております。本会会員の皆様が論文執筆や技術報告をされる際、技術動向を説明する引用文献として極めて有用ですので、近い技術分野の方は是非レビュー論文の内容をご一読頂ければと思います。ELEX のレビュー論文は過去から最新のものまで全てが WEB ページの “Review Paper” からアクセスできます (<http://www.elex.ieice.org/>)。レビュー論文は閲覧、ダウンロード共に無料となっておりますので、お気軽にアクセス頂ければ幸いです。

最近のレビュー論文として、9 月に「化合物半導体のデバイス・回路技術」の特集を行い、東京工業大学の宮本恭幸先生、日本電信電話株式会社の長谷宗彦様にご執筆頂きましたので、この場を借りてご紹介いたします。

化合物半導体は高い移動度と耐圧特性を有することか

ら、高速回路やパワーデバイス等への応用に向けて研究が進められておりましたが、近年になってレーダーや通信基地局用デバイスのみならず、コンシューマ向けのデバイスの一部としての活用が進んできました。

宮本先生には化合物半導体で作成される heterojunction bipolar transistor (HBT)、high-electron-mobility transistor (HEMT)、MOSFET に関する最新技術のレビューを御執筆頂きました。各デバイスの基本的な構造や特徴について述べられた後に、構造に関する技術動向、特性のトップデータ、応用先のアプリケーション事例が紹介されており、大変参考になるレビュー論文となっております。

長谷様には設計の立場から、光通信システムにおける化合物半導体の回路の活用について御執筆頂きました。光通信システムの送信装置、受信装置を構成する digital-to-analog converters (DAC)、analog-to-digital converters (ADC)、optical driver、transimpedance amplifiers (TIA) などの要素回路において、使用される材料や性能を比較されており、化合物半導体の回路としての最新技術動向として大変興味深い内容となっております。

ご多忙にも関わらず、素晴らしい論文を執筆頂きました宮本先生、長谷様に深く御礼申し上げます。ELEX では、今後も会員の皆様にとって魅力あるテーマを取り上げたレビュー論文の掲載を継続する予定です。どうぞご期待下さい。

著者略歴：

2003 年名古屋大学大学院工学研究科博士前期課程修了。同年、日本電信電話株式会社 入社。社会人博士として 2014 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士後期課程修了。ミリ波・テラヘルツ波帯 IC、高集積パッケージ技術、ミリ波帯高速無線システム等の研究開発に従事。本会 ELEX 編集幹事を歴任。2008 年 EuMIC Young Engineer Award、2010 年本学会学術奨励賞、2012 年 IEEE MTT-S Young Engineer Award 受賞。IEEE 会員。



【寄稿】

「オンラインレター誌 ELEX の紹介」



高橋 宏行 (NTT)

電子情報通信学会のオンラインレター誌である Electronics Express (ELEX) の 2016 年度編集幹事を務めさせて頂いております高橋と申します。NEWS LETTER への寄稿の機会を頂戴しましたので、この場をお借りして ELEX の紹介いたします。

ELEX は 2004 年の 4 月に設立され、今年度で 12 年になります。ELEX ではレター誌の特徴を活かし、論文投稿から掲載までに要する期間を短縮する努力を、継続的に行って参りました。最近の取り組みとして、昨年度より査読を専従とする特別編集幹事を新設することを検討し、今年度から正式に運用を開始しております。特別編集幹事は論文執筆や査読に深い経験を有し、複数の技術分野の投稿論文に対して査読の支援を実施することが特徴です。運用開始から既に 8 ヶ月が経過していますが、編集委員と特別編集幹事との連携により、査読プロセスの一層の迅速化や、採択基準の明確化等の改善が見られています。今後も引き続き、編集委員と査読委員そして編集部の皆様のお力を借りながら、期間短縮と質の高い査読を心がけて参ります。

また、ELEX は発足当時から、全ての論文が無料で閲覧可能なフルオープンアクセスを採用しております。最近では、著者が追加オプション費用を支払うことで無料閲読を可能にする、いわゆるハイブリッドオープンアクセス形態を取り入れる論文誌が増えております。しかし、特に電子回路分野においては、フルオープンアクセスの速報性電子ジャーナルは希少で、国内外の多くの方々に投稿頂いている理由になっているかと思えます。おかげさまで投稿件数は増加傾向となっており、創刊当初は 300 件前後であった投稿件数も最近では 1,000 件を超え、今年度も 1,200 件に届く見込みとなっております (図 1)。ELEX を支えて下さる全ての方に対し、この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

さて、本会の会員の皆様は、ELEX の所掌の技術分野についてどのようなイメージをお持ちでしょうか。ELEX は

その名称から電子デバイスや IC 技術などの技術分野を想起させますが、実際には様々な技術分野からの投稿を受け付けています。以下に ELEX の SCOPE を紹介します。

- Integrated optoelectronics
- Optical systems
- Electromagnetic theory
- MW and MMW devices, circuits, and systems
- Electron devices, circuits and modules
- Integrated circuits (memory, logic, analog, RF, sensor)
- Power devices and circuits
- Micro- or nano-electromechanical systems
- Circuits and modules for storage
- Superconducting electronics
- Energy harvesting devices, circuits and modules
- Circuits and modules for electronic displays
- Circuits and modules for electronic instrumentation

上述のように光技術や電磁界理論などの電子電気技術と密接に関連する分野や、ディスプレイや計測器用の新規デバイス、環境発電用デバイス技術などの応用技術や新規技術分野についても、多くの論文が投稿されております。ELEX の投稿の要領についてはホームページ (<http://www.elex.ieice.org>) に記載されております。皆様の研究を進める中で、速報すべき結果が出た場合は是非 ELEX への投稿をご検討ください。

著者略歴 :

2003 年名古屋大学大学院工学研究科博士前期課程修了。同年、日本電信電話株式会社 入社。社会人博士として 2014 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士後期課程修了。ミリ波・テラヘルツ波帯 IC、高集積パッケージ技術、ミリ波帯高速無線システム等の研究開発に従事。本会 ELEX 編集幹事を歴任。2008 年 EuMIC Young Engineer Award、2010 年本学会学術奨励賞、2012 年 IEEE MTT-S Young Engineer Award 受賞。IEEE 会員。

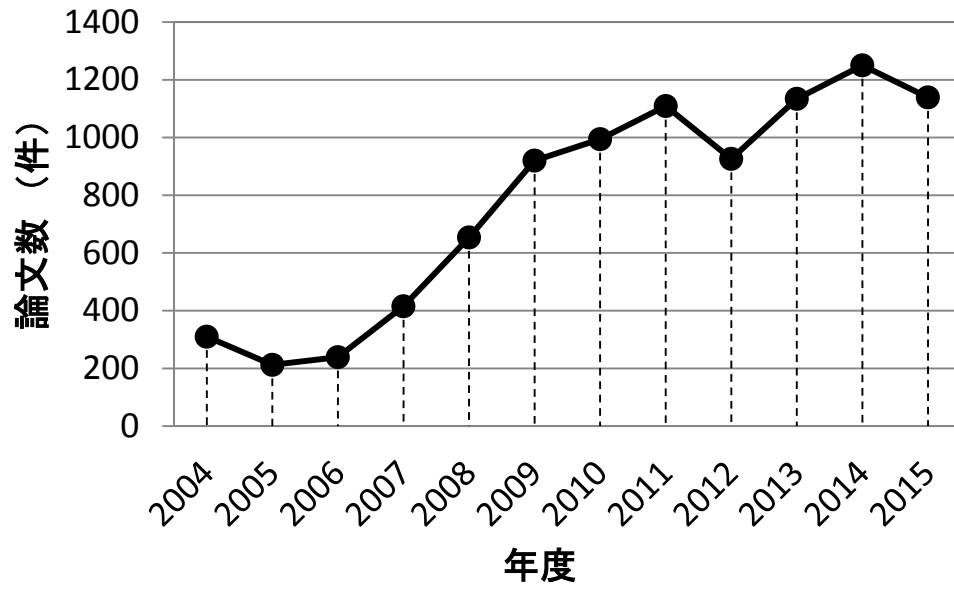


図1 年度ごとにおける ELEX への投稿件数の推移