



先端技術と独自アイデアとを「 μm 」サイズに埋め込む

高周波で動作する電子部品を集積した、「無線高周波集積回路(以下「RFIC」)」。直接目にする機会は滅多にない電子部品の1つだが、実は私たちの身の回りには電気・電子機器のうち、「電波」に関わるあらゆるものは、このRFICによって製品としての機能を成り立たせている。大学院情報生産システム研究科・吉増敏彦教授の研究室では、世界レベルのRFICを北九州の地で誕生させることを目指し、RFIC及びMMIC(マイクロ波集積回路)の高性能化に向けた研究に力を注いでいる。

RFICの良し悪しが製品の性能に直結する

スマートフォンや無線LAN、Bluetoothでペアリングする様々なデバイス、もちろんテレビやラジオなど、私たちの今日の生活は、無線通信技術によって支えられている。そして、様々な周波数帯域の無線通信を利活用するために必要なのが、吉増教授の研究対象であるRFIC及びMMICだ。「RFICの低消費電力化や広帯域化、あるいは低雑音化などを目的に、主に回路技術と回路方式の研究を行っています」と、研究の概要を語る吉増教授。

RFICの性能の良し悪しは、当然ながら製品としての性能にも直結する。例えば、私たちが日常的に使っているスマートフォンには、発振回路やフィルタ、パワーアンプなど多くの種類の高周波回路が用いられているが、その中で最も消費電力が大きいのがパワーアンプで、例えば、100mW(ミリワット)を出力するには300mW程度の直流電力を要すると言う。このパワーアンプの「低消費電力化」を実現させれば、フル充電1回あたりの連続通話時間を大きく伸ばすことができる。

「広帯域化」も市場ニーズの高い研究テーマだ。第5世代移動通信システム(5G)の通信エリアが徐々に広がっていることで、5G対応スマホに機種変更するユーザーが増えているが、すでに現在、第6世代移動通信システム(6G)実用化に向けた研究が進められている。「4Gのデータ伝送速度が100MB~1GB/秒だったのに対し、5Gは最高伝送速度が10GB/秒になりました。大容量のデータを送受信するには、伝送速度を上げなければなりません」、「伝送速度を上げる方法として一般的なのが広帯域化、つまり通信に使う電波の周波数帯を広げることです」。

4G通信では3.5GHz以下の周波数帯を使用していたが、5Gでは3.7GHz帯、4.5GHz帯、そして28GHz帯を使用。これが6Gとなると、国内では30GHz~300GHzあたりの周波数が検討対象となっており、どんどん高い周波数に移行している。「電波は、周波数が高くなるほど直進性が高くなり、光の特性に近づいていきます。ビルなどの障害物を回り込んでくれないのです。そうすると高周波ICも、回路設計や用いる半導体の種類などを高い周波数に合わせたものに変わっていかねばなりません」。

半導体素材としてはSi(シリコン)がポピュラーで、吉増研究室ではSi基板をベースに開発されたSOI基板(Silicon On Insulator)上に作成された相補性金属酸化膜半導体であるCMOS、SiGe、最近ではInP HBT(リン化イリジウム)(HBT:ヘテロ接合バイポーラトランジスタ)などの半導体も使用中。CMOSは耐圧が低いので、電源電圧を下げることで低消費電力化効果があって、InP HBTは高耐圧で高周波特性に優れている…など、それぞれの素材の特性と、目指す目的とのマッチングを考慮した使い分けを行っているようだ。

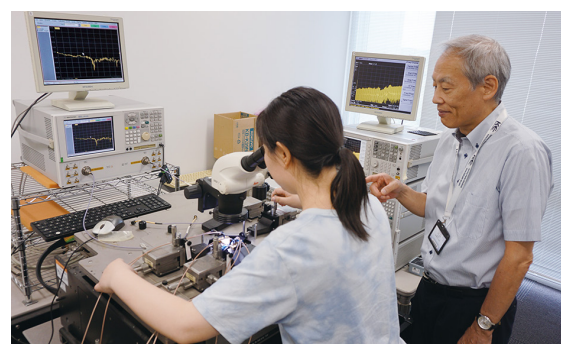


悩み続ける時間の中から“閃き”が生まれる

これまでに、広帯域スイッチ、28GHz帯パワーアンプ、2.4GHz帯低雑音増幅器、マイクロ波広帯域電圧制御発振器、車載レーダ用80GHz帯ミキサなどのICチップを実現してきた吉増研究室。学生1人、あるいは少人数グループで回路設計し、それぞれの特性評価を行う形式で研究を進めている。「回路の設計段階で予測していた性能が、チップになると実現していないことが多く、その理由の解析・考察を繰り返しています」。

設計通りの性能が出ない理由は様々だが、「周波数が高くなると、各部のトランジスタや抵抗などを繋ぐ配線の影響が大きくなります。周波数が高いと波長が短くなるので、配線の中で電圧や電流の振幅や位相が変わるなど、予想しなかった現象が生じることが増えるのです。低周波回路の場合、配線の長さや太さをあまり気にする必要はないが、周波数が高くなるほど予想外のことが起こりやすくなるのだという。設計の精度を上げるツールもあるらしいが、「実際に作って計ってみると、予期しなかった現象が見えてくるのがよくあります。『こうやれば設計通りになる』という方程式を作るのは難しいのです」。

単体ICであれば、エラー原因の解析も比較的容易かもしれないが、無線通信用トランシーバは、パワーアンプ、ミキサ、発振器、などで構成されているため、設計通りの性能が出ない原因を突き止めるのも簡単ではないという。また、2.4GHzで十分な特性が出るトランジスタであっても、80GHzになると性能不足となり、80GHz用の回路で用いるトランジスタなら、性能は十分だが非常に高価なので2.4GHz通信には向かない…といった具合に、回路に用いるトランジスタの種類も考慮しなければならない。もちろん周波数が違えば、先述の通り部品と部品との繋ぎ方も変わってくる。RFICやMMICに設計通りの動作をさせるためには、様々な要素・要因を配慮する必要があるのだ。「また、アナログ回路の設計で、『どうやれば性能の良い新しい回路を考案できますか?』と学生に質問されるのですが、回路を思いついた理由(プロセス)は説明できないのです。とは言え、悩み続ける時間は研究者にとって非常に重要なものですから、学生たちには諦めず悩んでもらい、その中から“閃き”を得てほしいと考えています」。



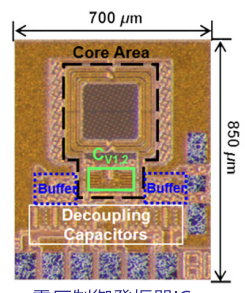
「教科書通り」の考え方ではうまくいかない

スマホをはじめとする身の回りの無線通信機器には、常に高性能化が求められている。そういった意味でも、吉増教授の研究テーマであるRFICの低消費電力化や広帯域化、低雑音化などは市場ニーズの高い研究内容なのだが、必ずしも実用化を前提にした研究ばかりではない。

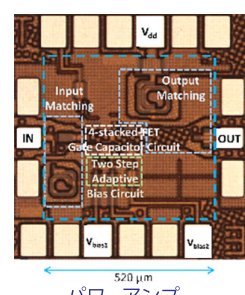
例えば、研究室で独自考案して論文も提出済みの「広帯域バラクタ回路」採用の電圧制御発振器ICは、単一のアナログ制御電圧で3.2GHz~6.49GHzまでの発振が可能な回路。4G~5G、さらにWi-Fiという異なる通信システムで使用される周波数を1つの発振器でカバーする。「0~1Vの単一アナログ制御信号で、どれだけ発振周波数を変えられるかを学術的に検証するため、学生とともに設計した回路です。なるべく低消費電力で広帯域をカバーし、総合性能指数をどこまで上げられるかにチャレンジした事例です」。

他にも、研究室で考案した「独自適応型バイアス制御回路」と「新規ゲート容量制御回路」により、線形性と効率を同時に改善したパワーアンプ、「独自2次高調波発生回路」の考案により、超低消費電力特性を実現した高調波ミキサなども実現。この高調波ミキサの論文は、EuMIC(欧州マイクロ波IC会議)で学生が発表し、「Young Engineer Award」を受賞している。「発振器もアンプも、消費電力や雑音、発振帯域幅など色々な性能指数があり、多くの場合、それらはトレードオフの関係です。そのため、『何の目的で使うか』を考えた上での総合性能指数を上げていくことが重要なのです」。

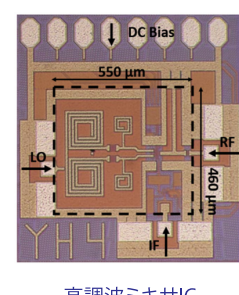
ちなみに、ここまでに紹介したICはいずれも、数100 μm (マイクロメートル)という超微細なサイズのものばかり。極小世界の中に、最先端技術と独自技術とを詰め込んでいく研究なのである。設計者は誰でも、「自分が設計したICチップに、初めて電圧をかけて性能を計る時は、いつもワクワク感とドキドキ感の両方を感じるものです」という吉増教授。「私の経験上、教科書通りに考えて設計しても、あまり良い回路はできません。ずっと悩み続けて、でも、どうしたら良いのか判らず、『もうイヤ』と諦めそうになった瞬間にポンと閃くことがあります。いつもでも、ないですが。そこが、回路設計の面白さであり難しさでもあると感じている。『『そもそもどうやって無線通信しているのだろう、どんな回路が使われているのだろう』…』といったことに興味を持っている学生たちと一緒に、私たちの生活をさらに豊かにするための研究に取り組みたいと思っています」。



電圧制御発振器IC



パワーアンプ



高調波ミキサIC