



## 超広帯域リコンフィギュラブル 無線集積回路技術の研究

あらゆる無線通信を単一ICで実現

**岡田 健一**

東京工業大学大学院 理工学研究科  
准教授

### 研究の背景

シリコンCMOSプロセスの発展により、多くのGHz帯無線回路がCMOS集積回路として製造されている。CMOS集積回路は低コスト化が容易であり、デジタル処理部と無線回路部との混載化により、さらなる高機能化と生産コストの削減が可能である。2010年には14.2兆円の規模となる移動体通信市場において、このCMOS回路技術がさらなる飛躍を牽引すると言っても過言ではない。また、移動体通信技術の次なる大きな課題は、リコンフィギュラブル化(Reconfigurable)である。無線通信はその発展により、多様な周波数帯域が用いられるようになっているが、新規無線端末における後方互換性の確保が、無線回路の設計を困難とする重大な要因となっている。国内の携帯電話を例にとると、800MHz帯、1.5GHz帯、1.7GHz帯、2GHz帯が利用されており、

無線LANとして2.4GHz帯および5GHz帯が利用されている。また、海外に目を向けると800MHz、900MHz、1800MHz、1900MHz、2200MHz、2600MHzと多様な周波数帯域が用いられ、また無線回路としてはこれらすべての周波数帯域で利用できるものが望まれている。従来の無線回路では、無線帯域幅が200~300MHz程度であり、これらの周波数帯すべてをカバーするのは不可能である。そのため、現状の無線端末ではそれぞれの周波数帯域および通信方式ごとに別々の無線ICを搭載する方法を採っている。

複数の無線方式への対応にあたり、単に複数のICを搭載する方法では、実装面積および部品コストの増加は免れない。つまり、現状の無線ICが抱える課題は、CMOSによる無線回路の実現およびそのマルチバンド化である。CMOS化と複数ICの統合により、革新的な低コスト化が可能である。

研究では完全チューナブル化によるリコンフィギュラブル無線回路を実現した。従来のマルチバンド化のアプローチでは、例えば1.8GHz~1.9GHzのHigh Bandと800MHz~900MHzのLow Bandに分担し、4組または2組の回路を単一IC中に実装する方法によるマルチバンド化が行われていたが、本研究では単一回路をリコンフィギュラブルに動作させ、800MHz~6GHzでの無線通信を可能とする。具体的成果として、15MHz~7GHzの発振出力を可能とするマルチバンド電圧制御発振器(VCO: Voltage Controlled Oscillator)、800MHz~1.5GHz受信回路を実現した。

マルチバンドVCOとしては、従来、MEMS可変インダクタを用いたものが提案されており<sup>[1-2]</sup>、また、CMOSだけによるものとして0.98~6.6GHzを実現するものが報告されている<sup>[3]</sup>。本研究では、更なる高性能化を目指し、多分周注入同期周波数分周器を用いた15MHz-7GHz電圧制御発振器を実現した(図1)。文献3のVCOでは、1.96GHz~3.3GHzの発振周波数範囲を持つVCOを信号源として用い、その出力を2、3/2、3/4、1/2倍に通倍することで、0.98-6.6GHzの周

### 研究の成果

従来は、個別の周波数帯・無線方式に対してそれぞれ別々の回路で対応するマルチバンド化方式が検討されてきたが、本

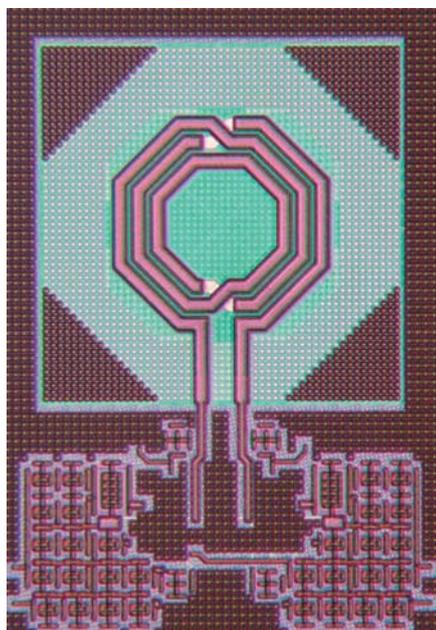


図1 15MHz~7GHzマルチバンド電圧制御発振器

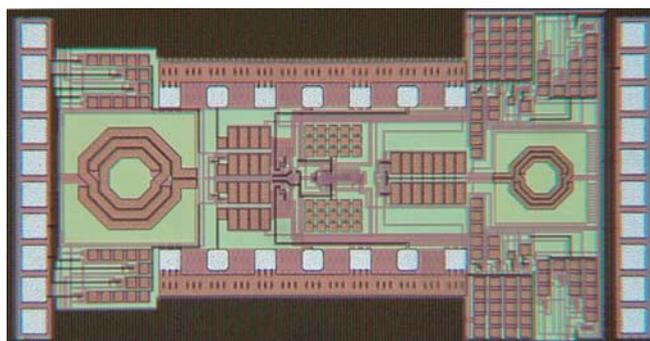


図2 0.8GHz~1.5GHzマルチバンド受信回路

波数可変範囲を実現する。ミキサ回路や周波数分周回路を用いるため、消費電力とスプリアスの面で課題がある。本研究における方式では、それらの問題を解決するため、VCOを倍の周波数で発振させ[4]、なおかつ、多分周器を用いることでスプリアスの問題を解決した。大幅な低消費電力化と小面積化を実現した。本分野で非常に一般的な位相雑音の指標と周波数可変範囲の指標において、世界最高の性能を達成した。

受信回路は低雑音増幅器(LNA: Low Noise Amplifier)、周波数混合器(Mixer)、局所発振器(Local Oscillator: VCO等により構成)を用いて実現される。本研究では、受信回路のリコンフィギュラブル化において、従来の複数回路を単に組み合わせる方式ではなくリコンフィギュラブル化によるマルチバンド無線回路を実現した(図2)。800MHz~1.5GHzでの動作が可能である。アクティブノイズキャンセリング技術により、妨害波の除去が可能な初めてのリコンフィギュラブル受信回路であり、特に自機送信出力による性能劣化を回避することが可能である。

### ミリ波への展開

低マイクロ波帯(6GHz以下の周波数帯域)を中心とする携帯電話や無線LANは爆発的な発展を遂げているが、一方で周波数帯域の逼迫は切実な問題となっている。マルチメディア化によるコンテンツの大容量化に対応するため超高速無線通信が必要とされているが、その有効な実現技術としてミリ波帯を用いる無線通信が注目を集めている。逼迫する低マイクロ波帯ではなく、60GHz帯で利用可能な7GHz帯域を用い、CMOSによる超高速無線通信を実現しようという試みである。

本研究の展開として、ミリ波帯までも含めたりコンフィギュラブル化に取り組んでいる。これまでの成果として、CMOS電圧制御発振器により80GHz発振を実現している(図3)[5]。また、60GHz帯低雑音増幅器(図4)および電力増幅器(図5)についても開発を行い[6]、60GHz帯以上での周波数においてもリコンフィギュラブル化技術の実現可能性を示した。

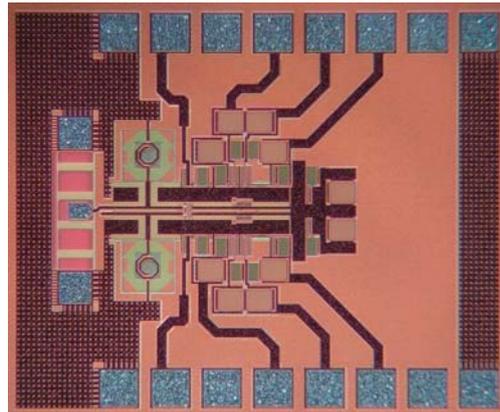


図3 80GHz電圧制御発振器

### まとめ

あらゆる無線通信を単一ICで実現するリコンフィギュラブル無線集積回路技術について研究を行った。提案方式による無線回路を、実際にCMOSプロセスにより実装し、実測により有効性を示した。15MHz~7GHz発振を可能とするマルチバンドVCOと、800MHz~1.5GHz受信回路を実現した。特に提案マルチバンドVCOは現状で世界最高の性能を達成

している。今後は産業界との連携を一層強化し、実製品レベルでの実現に向けて、研究を推進していく所存である。また、本研究の推進にあたり、東京工業大学益一哉教授および松澤昭教授のご支援およびご助言を受けた。CMOSチップ試作においては、東京大学大規模集積システム設計教育研究センター(VDEC)の協力があったことに、この場を借りて感謝の気持ちを述べたい。

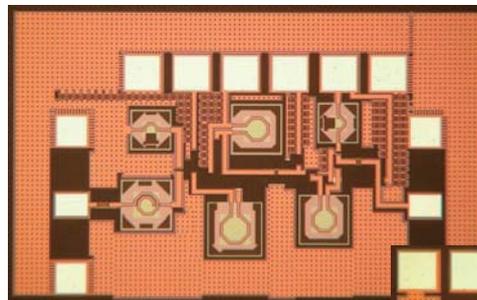


図4 60GHz低雑音増幅器

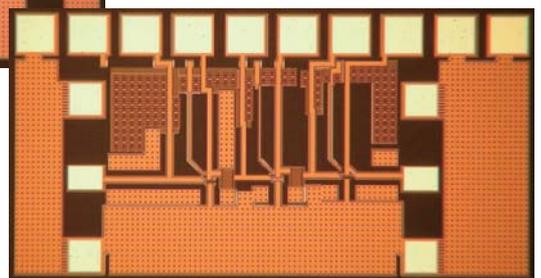


図5 60GHz電力増幅器

### References (参考文献)

- [1] Kenichi Okada, Hiroataka Sugawara, Hiroyuki Ito, Kazuhisa Itoi, Masakazu Sato, Hiroshi Abe, Tatsuya Ito, and Kazuya Masu, "On-Chip High-Q Variable Inductor Using Wafer-Level Chip-Scale Package Technology," IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. 53, No. 9, pp. 2401-2406, Sep. 2006.
- [2] Yusaku Ito, Yoshiaki Yoshihara, Hiroataka Sugawara, Kenichi Okada, and Kazuya Masu, "A 1.3-2.8 GHz Wide Range CMOS LC-VCO Using Variable Inductor," IEEE Asian Solid-State Circuits Conference (A-SSCC), pp.265-268, Nov. 2005.
- [3] Yusaku Ito, Hiroataka Sugawara, Kenichi Okada, and Kazuya Masu, "A 0.98 to 6.6GHz Tunable Wideband VCO in a 180nm CMOS Technology for Reconfigurable Radio Transceiver," IEEE Asian Solid-State Circuits Conference (A-SSCC), pp. 359-362, Hangzhou, China, Nov. 2006.
- [4] Shoichi Hara, Takeshi Ito, Kenichi Okada, and Akira Matsuzawa, "Design Space Exploration of Low-Phase-Noise LC-VCO Using Multiple-Divide Technique," IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), pp.1966-1969, May 2008.
- [5] Win Chaivipas, Kenichi Okada, and Akira Matsuzawa, "A 80GHz Voltage Controlled Oscillator With a Negative Varactor in 90nm CMOS Technology," IEEE Asian Solid-State Circuits Conference (A-SSCC), pp 133-136, Nov. 2008.
- [6] Ning Li, Kenichi Okada, Toshihide Suzuki, Tatsuya Hirose and Akira Matsuzawa, "A Three-Stage 60GHz CMOS LNA Using Dual Noise-Matching Technique for 5dB NF," IEEE Asia-Pacific Microwave Conference (APMC), Dec. 2008.