

高集積・高効率な移動体通信端末機器用 高周波デバイスとその応用

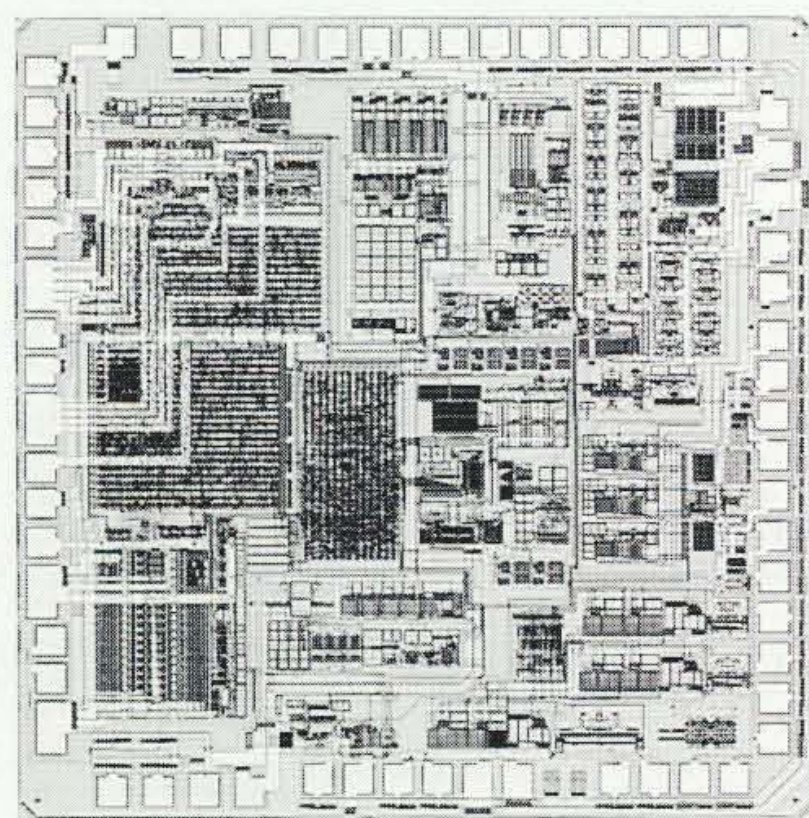
Large Integrated, High-Efficiency, Radio-Frequency Devices and
Their Applications to Mobile Terminals

小久保優 Masaru Kokubo

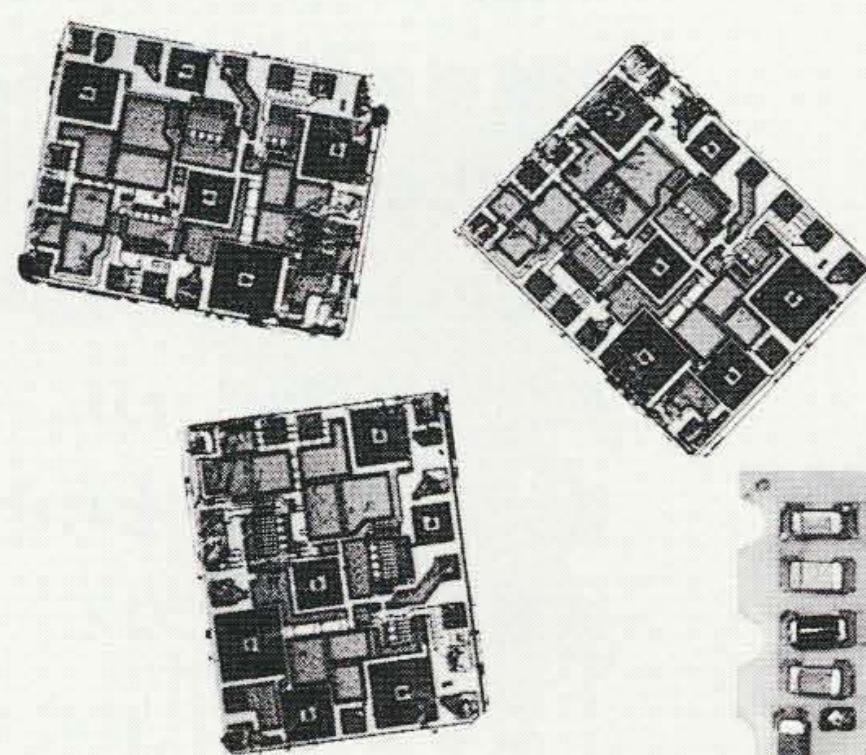
布川康弘 Yasuhiro Nunogawa

笠原真澄 Masumi Kasahara

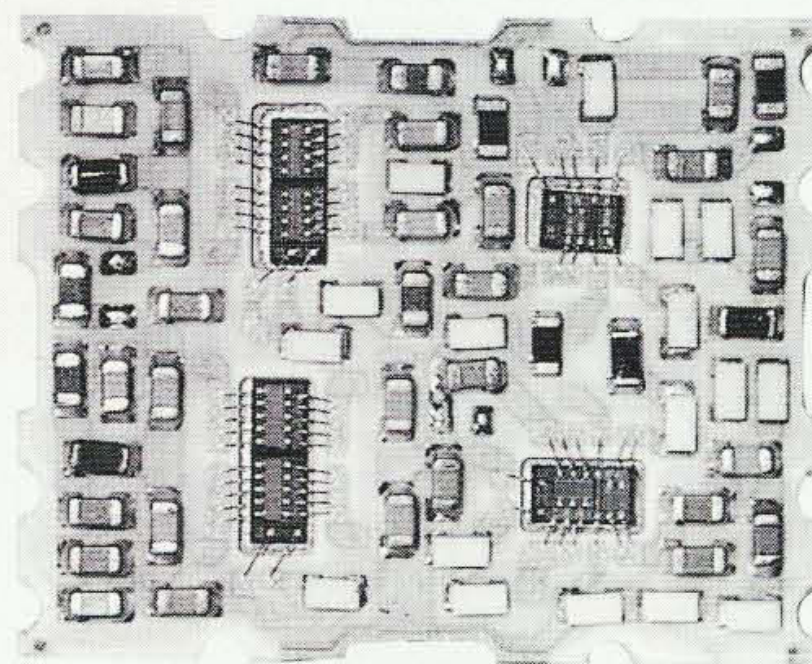
重野 靖 Yasushi Shigeno



(a) Bi-CMOSアナログ
信号処理 IC



(b) GaAs低雑音増幅器・
ミキサMMIC



(c) MOS-FETデュアルバンド用
高周波電力増幅器

注：略語説明

Bi-CMOS (Bipolar Complementary Metal-Oxide Semiconductor)

MMIC (Microwave Monolithic IC)

MOS-FET (Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor)

移動体通信機器用高周波デバイス

PLL (Phase-Locked Loop) の集積化、新容量プロセスの適用、可変バイアスによる動作電流低減などの新技術を開発し、移動体通信端末機器の高周波回路を高集積、高効率化できる3種類のICを製品化した。

集積回路技術の進歩によって半導体の大規模化・高効率化が進み、移動体通信機器の低コスト化が可能となった。近い将来、高周波回路にも数万個のトランジスタが集積されるものと予測される。さらに、インターネットへのアクセスのようなデータ伝送への対応では、ひずみ特性の改善が重要となる。

日立製作所は、今回、以下の3種類の高周波デバイスを開発した。

(1)「Bi-CMOS (Bipolar Complementary Metal-Oxide Semiconductor) アナログ信号処理IC」は、欧州標準仕様対応デュアルバンド携帯電話用にPLL (Phase-Locked Loop) や低雑音増幅器を集積化したもので、高周波能動素子の大部分をワンチップ化した。

(2)「低雑音増幅器・受信ミキサMMIC (Microwave Monolithic IC)」は、高利得、低雑音、低ひずみなど高周波特性に優れたガリウム・ヒ素デバイスに新容量プロセスを適用したもので、日立製作所の従来製品比で20%小型化した。

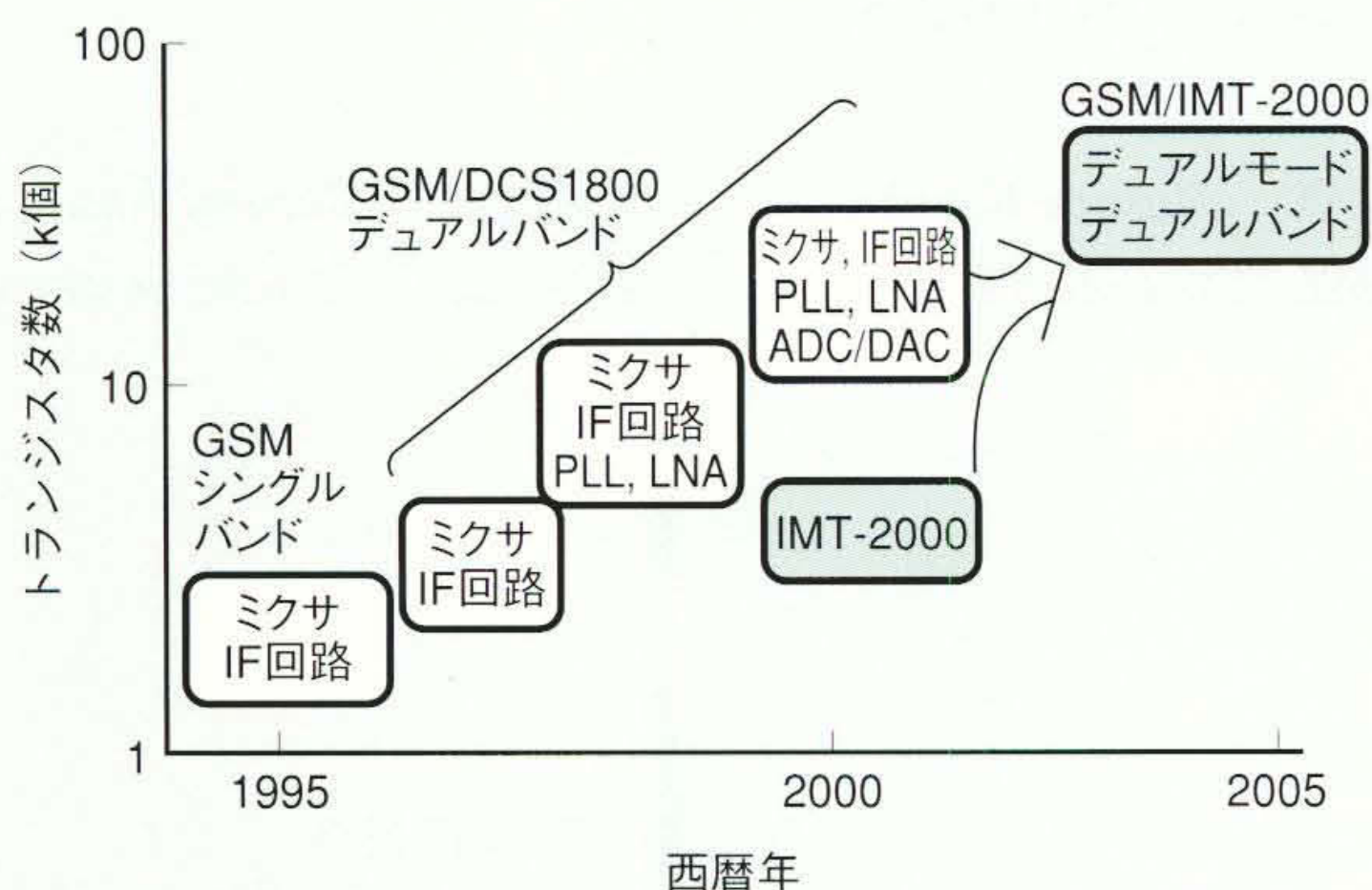
(3)「デュアルバンド用高周波電力増幅器」では、制御が容易でかつ熱的安定性がよいMOS-FET (Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor) の微細化と可変バイアス方式の適用により、実使用条件での動作電流を半減した。

今後、IMT-2000 (International Mobile Telecommunication 2000) などの第3世代移動通信方式のさまざまな信号処理に効果的に対応できる、低ひずみ・高集積・高効率なデバイスの開発を推進していく。

1 はじめに

携帯電話をはじめとする移動体通信機器では、半導体集積回路技術の急速な進歩により、機器の低コスト化が図られてきた。特に、欧州を中心に標準規格が制定されたGSM (Global Systems for Mobile Communications) は、ひずみへの要求が緩やかなことから、集積規模拡大が進められている。集積されたトランジスタ数の推移を

図1に示す。1995年ころからGSMシングルバンド (900 MHz帯) 対応の技術が開発され、その後、1.8 GHz帯も同時に取り扱えるデュアルバンドGSM/DCS1800 (Digital Cellular System 1800) 対応技術が開発された。最近では、PLL (Phase-Locked Loop) やLNA (Low Noise Amplifier: 低雑音増幅器) が集積化され、高周波回路に使われる能動素子のほとんどが同一チップ上で実現されている。今後さらに、ADC (Analog-to-Digital



注：略語説明 IF (Intermediate Frequency)

図1 RF/IF回路の集積規模拡大の推移と将来予測

シリコン素子の大規模集積化により、RF(Radio Frequency)/IF回路だけでなく、ベースバンド部の一部を集積化する方向にある。

Converter)やDAC(Digital-to-Analog Converter)が集積されるものと予測する。一方、インターネットへのアクセスなどの大容量データを取り扱うことへの要求が高まり、これに対応するため、IMT-2000(International Mobile Telecommunication 2000)のような伝送速度が高いシステムが実用化されつつある。しかし、ひずみに対するニーズが厳しくなることから、半導体回路のひずみ特性の改善が大きな課題となる。21世紀初頭には、デュアルバンド・デュアルモード対応の高周波ICが実現されるものと予測する。

アンテナから電力を送信するための高周波電力増幅器(以下、「RFモジュール」と言う。)は、小型パッケージでの実現や通話時間を長くするための高効率化が課題であり、MOS-FET(Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor)やGaAsデバイスにより、特性改善が図られている。また、低雑音増幅器には、高利得、低雑音、低ひずみなど、高周波特性に優れたGaAs化合物半導体デバイスが適している。GaAs化合物半導体デバイスは、高周波回路での低損失な入出力整合回路を容易に形成できる特徴を持つので、周辺部品のオンチップ化が可能となる。

このように、移動体通信機器ではさまざまな周波数帯の信号処理が行われ、多種類のデバイスが機器を構成する。このため、それぞれの特徴に応じた、適切なデバイス選択が重要となる。

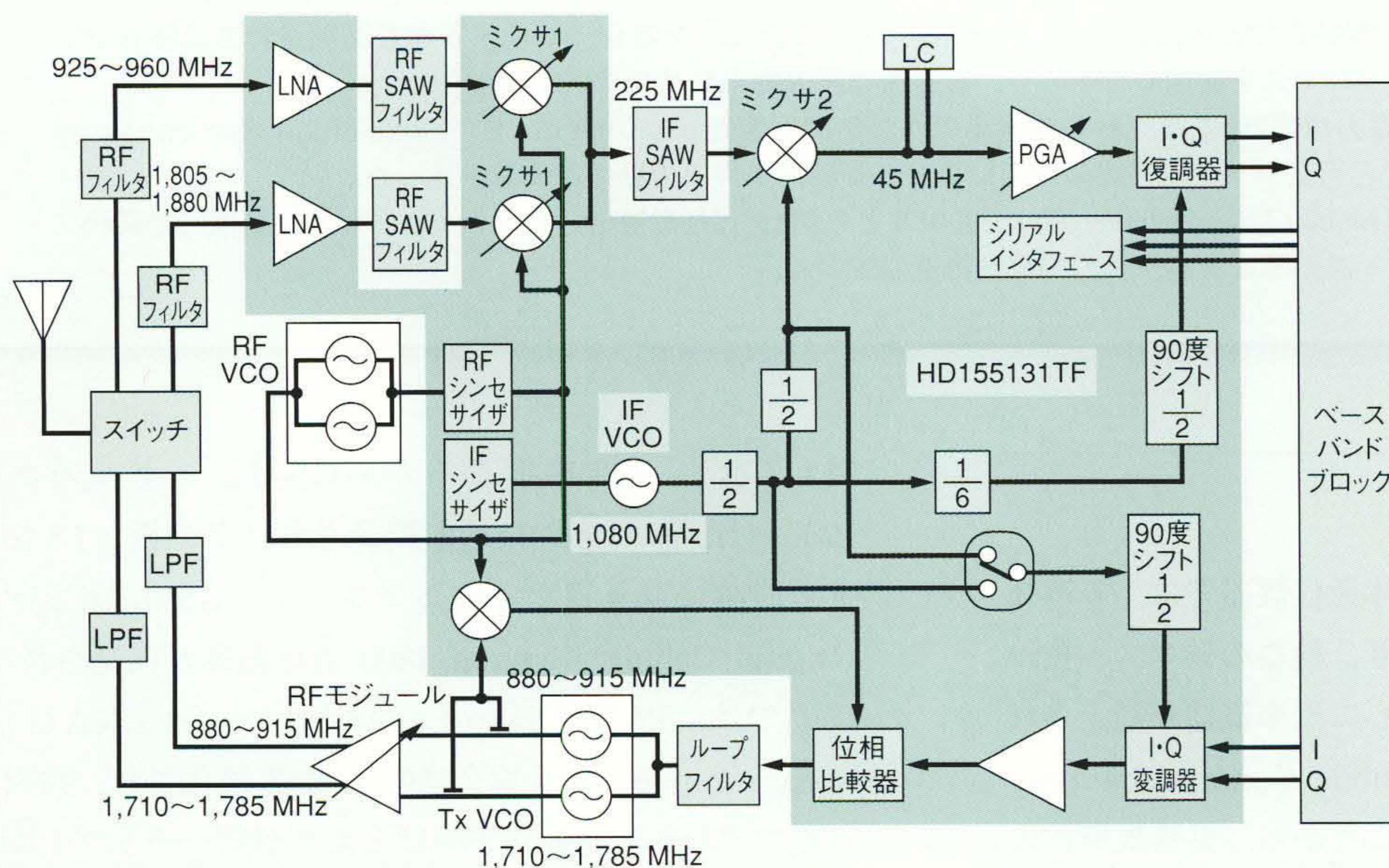
ここでは、高周波回路の高集積化・高効率化を目指して日立製作所が新たに開発した三つのデバイスについて述べる。

2

高周波・集積への対応(1)

—Bi-CMOSアナログ信号処理IC—

GSM/DCS1800対応として、送受信部をワンチップ化した“HD155121F”を開発し、製品化した¹⁾。今回さらに、英国TTP Communications Ltd.社と共同で、LNAとデュアルシンセサイザを集積した“HD155131TF”を開発した²⁾。このICでは、0.35 μm Bi-CMOS(Bipolar Complementary



注：略語説明

SAW (Surface Acoustic Wave)
I (In-Phase Signal)
Q (Quadrature-Phase Signal)
VCO (Voltage-Controlled Oscillator)
LC (Inductor, Capacitor)
LPF (Low-Pass Filter)
Tx (Transmitter)
PGA (Programmable Gain Amplifier)

図2 HD155131TFのブロック図

デュアルバンド携帯電話の高周波アナログ部の大部分を集積した。すでに開発済みのICに比べて、LNAとRF/IFシンセサイザをさらに集積している。

Metal-Oxide Semiconductor) プロセスを新規に採用した(図2参照)。新0.35 μm Bi-CMOSプロセスでは、SOI (Silicon on Insulator)と深溝分離により、寄生容量を3.3 fFと、従来の0.6 μm Bi-CMOSの約 $\frac{1}{10}$ にして、高周波性能の向上、低電力、および高集積を可能にした。

受信感度は、GSM/DCS1800両帯域で -108.5 dBm以下(仕様では -102 dBm以下)と、良好な特性を達成した。

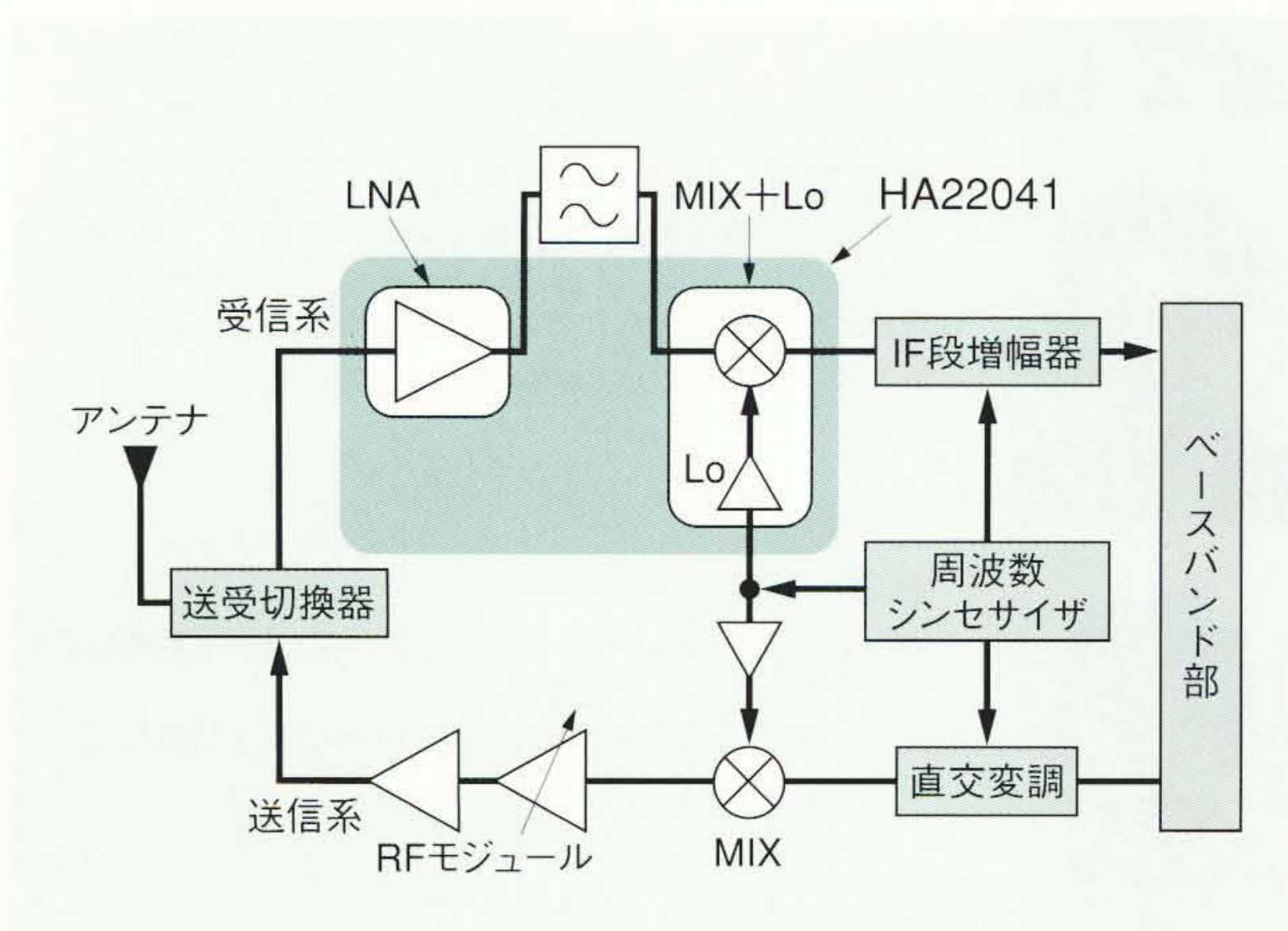
3

高周波・高集積への対応(2)

—GaAs低雑音増幅器・受信ミキサMMIC—

低雑音・低ひずみGaAs MMIC(Microwave Monolithic IC)と、すでに開発済みの厚膜Auめっきによるスパイラルインダクタ技術により、PDC(Personal Digital Cellular Telecommunication System)対応1.5 GHz帯受信部GaAs MMICを製品化した¹⁾。今回、新容量プロセスの開発(日立製作所従来製品比で3倍密度)、低雑音増幅器、低ひずみ受信ミキサ、ローカル増幅器など受信部の複合化、入出力整合回路の内蔵化、さらに、超小型面実装パッケージ「SON-12ピン」(レジンサイズ3.4 mm $\times$ 3.6 mm, ピンピッチ0.4 mm)という特徴を持つ複合機能受信用MMIC “HA22041”を開発した(図3参照)。

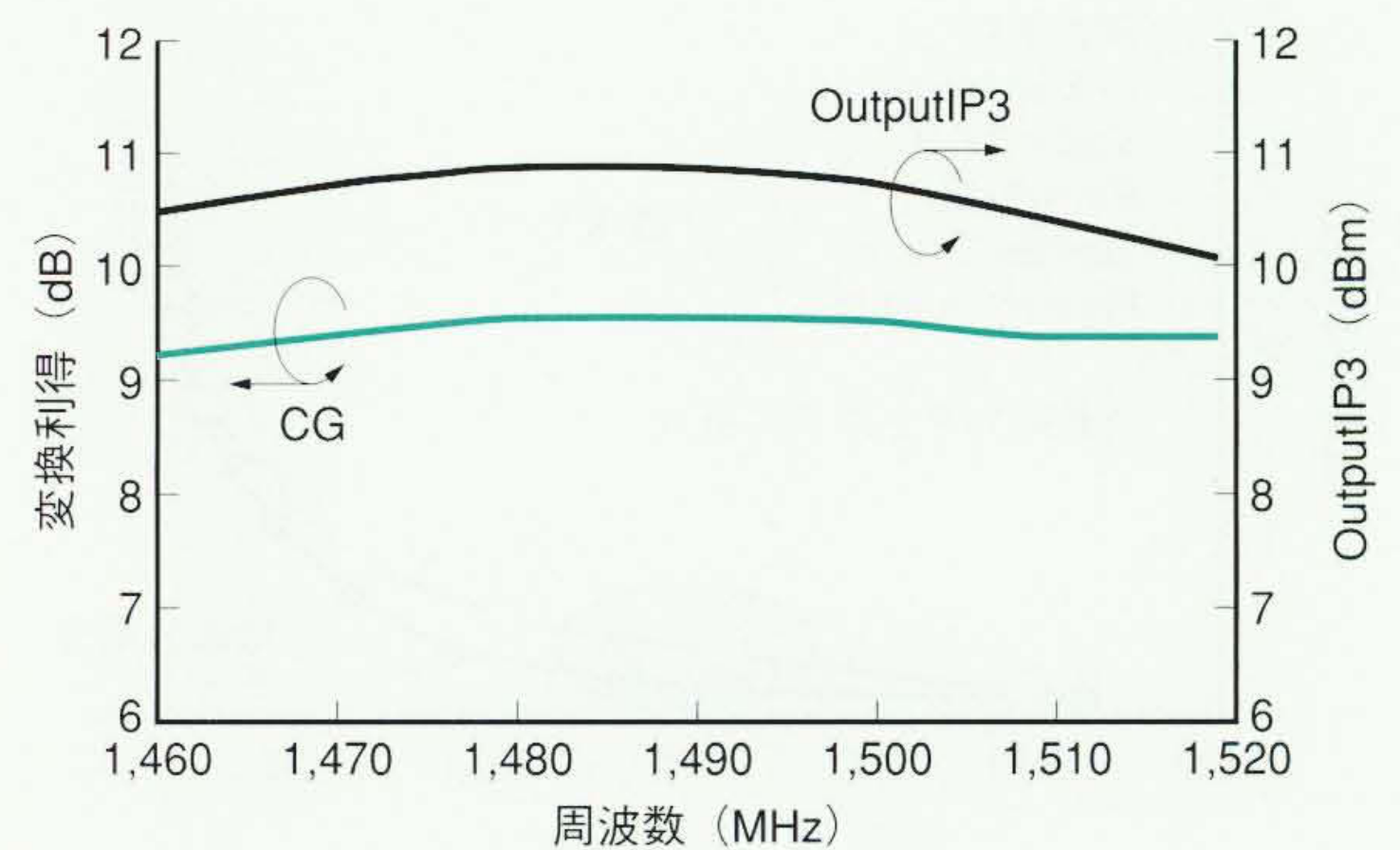
HA22041のミキサの高周波特性を図4に示す。ゲート長は0.4 μm で、デュアルゲートGaAs MESFET(Metal-Semiconductor FET)を用いることにより、1.5 GHz動作で変換利得9.5 dB, アウトプット三次インタセプトポイ



注：略語説明 MIX (Mixer), Lo (Local Amplifier)

図3 携帯電話無線部のブロック図

実装面積のいっそうの小型化を目指して、超小型パッケージ“SON-12”を開発し、LNA+MIX+Loを内蔵した。



注1：電源電圧；2.8 V, 入力電力； -30 dBm, 中間周波数；130 MHz
ローカル入力； -12 dBm

注2：略語説明 CG (Conversion Gain), OutputIP3 (Output 3rd Intercept Point)

図4 HA22041のミキサ部高周波特性

周波数1.5 GHzでCGが9.5 dB, OutputIP3が10.5 dBmの高周波特性を得た。

ント $+10.5$ dBmと、良好なひずみ特性を得ている。また、このMMICを用いることにより、周辺部品も含めて約20%の小型化(日立製作所従来製品比)が可能となる。

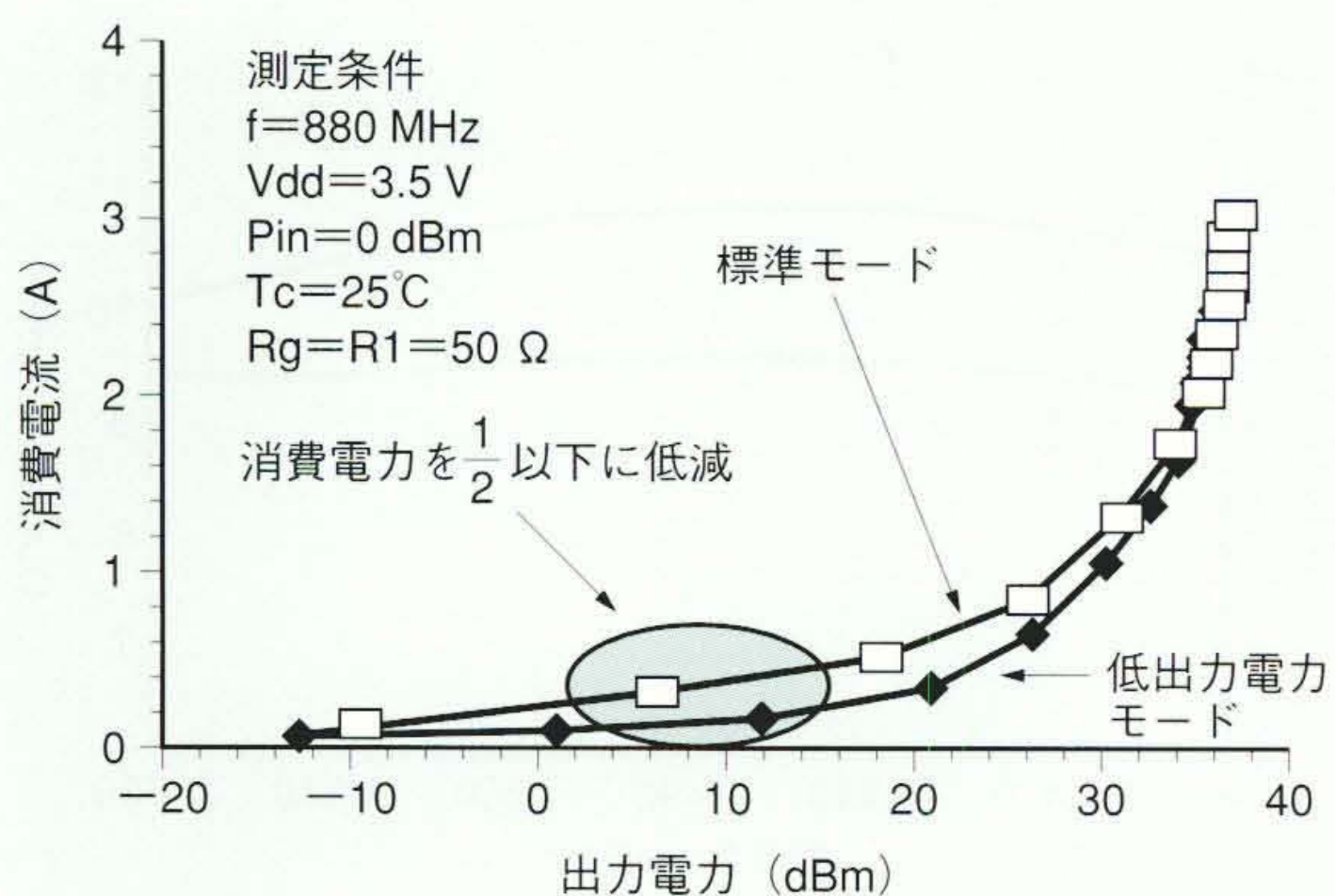
4

高効率・高性能の追求

—MOS-FETデュアルバンド用RFモジュール—

RFモジュールの効率は、通常、最大出力時の定格電力で規定しており、この効率を向上するために、採用素子の特性改良を行っている。しかし、携帯電話の実使用では、この最大出力の状態ですべて使用されるわけではなく、むしろ、中・低出力条件での使用が多い。そこで、積層セラミック基板を用いた小型RFモジュールの新製品として、低出力電力時の効率向上機能を追加したGSM/DCS1800デュアルバンド対応“PF08109B”を開発した。2系統の増幅器を用い、特に消費電力の大きいGSMモードには、標準モードと低出力電力モードとが切り替えられる機能を採用した。出力レベルに応じて増幅器のバイアス条件を調整することにより、不要電流を減らしている。出力電力と電源電流の関係を図5に示す。低出力電力モードに設定することにより、出力が10 dBm付近では動作電流を $\frac{1}{2}$ 以下に低減できる。

パッケージには多層セラミック基板を用い、ストリップラインに層間の導体を用いることにより、小型化を実現している。またサーマルビア(層間を貫通する筒状の導体)の採用により、 10 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ の熱抵抗、およびMOS-FETのソースと接地電位間の低インピーダンス化を実現した(図6参照)。



注：略語説明 f (Frequency), P_{in} (Input Power), T_c (Case Temperature)
 R_g (Generator Resistance), R_1 (Load Resistance)

図5 出力電力に対する消費電流

低出力電力モードに設定することにより、標準モードに比べて消費電流を $\frac{1}{2}$ 以下に低減した(出力：10 dBm付近)。

増幅用デバイスには、微細化プロセスによる高性能MOS-FETを採用した。MOS-FETには、制御が容易でかつ熱的安定性がよく、破壊しにくいという利点がある。

標準モードでのそれぞれの出力電力・効率、GSM帯では35.5 dBm/50%、DCS1800帯では32.7 dBm/45%である。

5 おわりに

ここでは、移動体通信機器を構成するさまざまな信号処理に効果的に対応できる、日立製作所が開発を進めているデバイスのうち、(1)特に高周波部の大規模化・高効率化を目指してPLLやLNAを集積化した「Bi-CMOSアナログ信号処理IC」、(2)新容量プロセスを適用して小型化した「GaAs低雑音増幅器・受信ミキサMMIC」、および(3)可変バイアスで動作電流低減を図った「MOS-FETデュアルバンド用RFモジュール」について述べた。

今後の課題として、Bi-CMOSアナログ信号処理ICについては、高集積化と小型化実現のため、C-CSP (Ceramic Chip Size Package)の展開と、周辺回路を取り込んだC-CSPモジュールを開発中である。GaAs低雑音増幅器・受信ミキサMMICでは、多機能・小型化の要求にこたえる高集積・低ひずみMMICの開発を進める考えである。また、RFモジュールでは、高効率と低ひずみを目指し、MOS-FETの微細化と、化合物半導体HBT (Heterojunction Bipolar Transistor)の適用について検討を行っている。

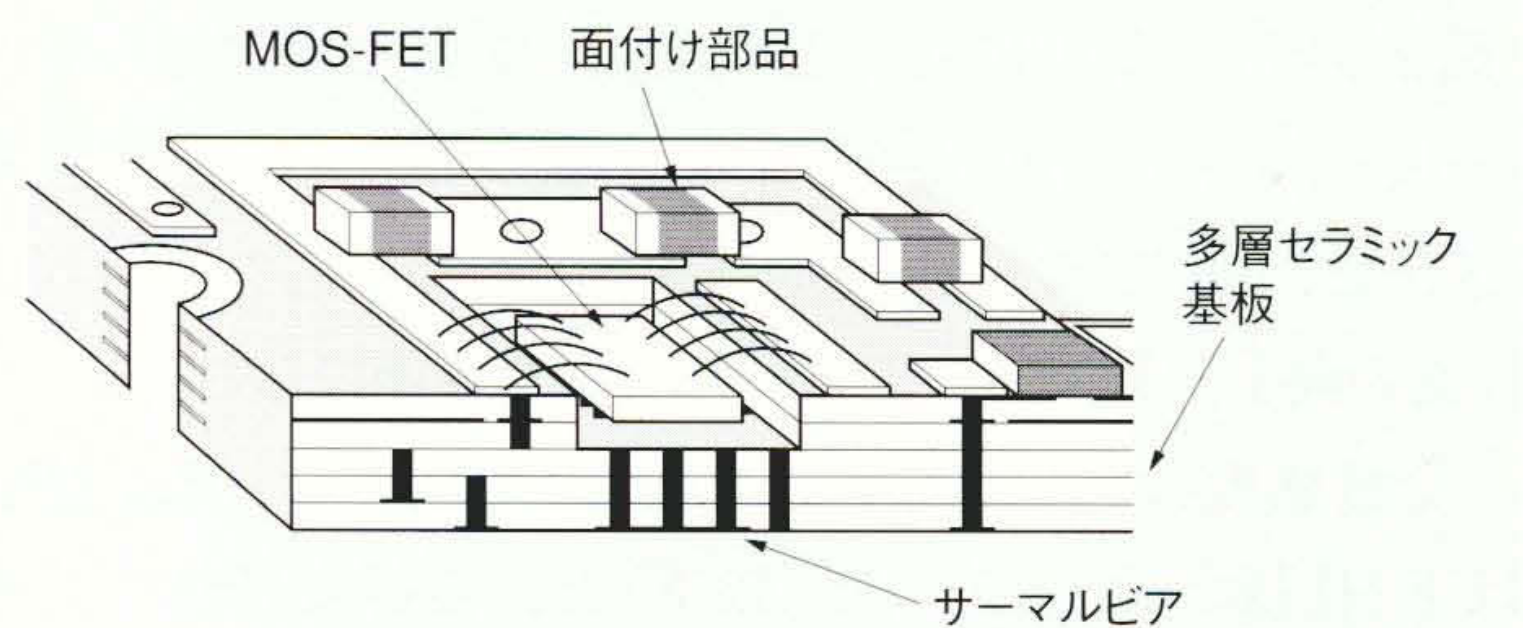


図6 パッケージの断面構造

多層セラミックパッケージの採用により、小型化と低熱抵抗 (10°C/W)を実現した。

参考文献

- 1) 草野, 外: 携帯電話を支える高周波用半導体, 日立評論, 80, 11, 755~760 (平10-11)
- 2) K. Takikawa, et al.: RF Circuits Technique of Dual-band Transceiver IC for GSM and DCS1800 Applications, ESSCIRC '99, S3.8 (1999-9)

執筆者紹介



小久保優

1981年日立製作所入社, 中央研究所 通信システム研究部 所属
 現在, 高周波回路LSIとPLLの開発に従事
 IEEE会員, 電子情報通信学会会員
 E-mail: m-kokubo @ crl.hitachi.co.jp



布川康弘

1976年日立製作所入社, 半導体グループ 汎用半導体事業部 小諸開発設計センター マイクロモジュール設計部 所属
 現在, 携帯電話用RFモジュールの開発, 設計に従事
 E-mail: nunogawa @ cm.musashi.hitachi.co.jp



笠原真澄

1979年日立製作所入社, 半導体グループ システムLSI事業部 システムLSI第二本部 セルラーLSI設計部 所属
 現在, 携帯電話用高周波ICの開発に従事
 E-mail: kasahara @ cm.musashi.hitachi.co.jp



重野 靖

1986年日立製作所入社, 半導体グループ 汎用半導体事業部 マイクロモジュール設計部 所属
 現在, 化合物半導体高周波デバイスの開発・設計に従事