業務無線機用高出力MOSFETデバイス

森　和人*
丸山洋二**
藤田光一***

High Frequency High Power MOSFET for Professional Radio

Kazuhito Mori, Yoji Maruyama, Koichi Fujita

要　旨

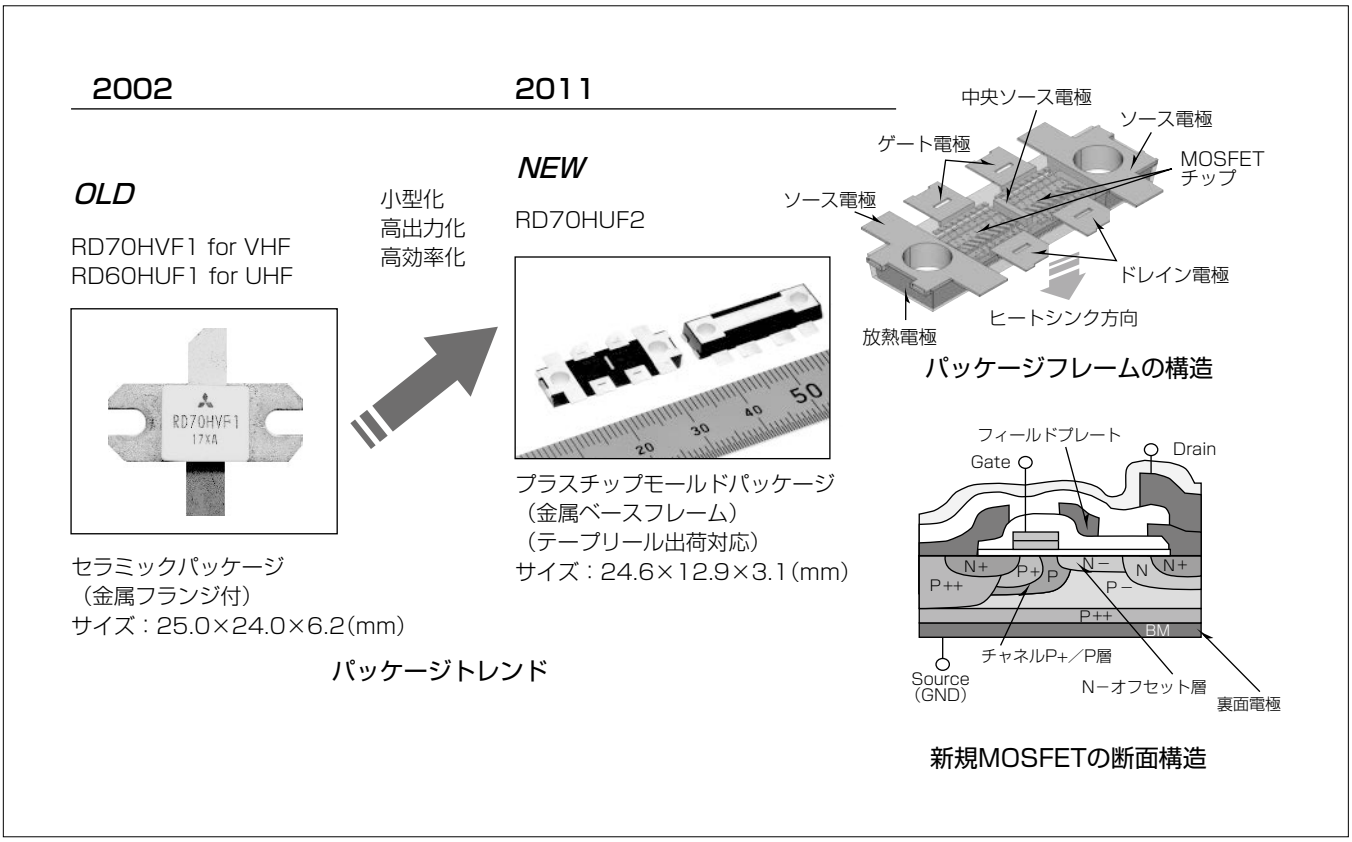
業務無線機は，VHF(Very High Frequency)帯とUHF(Ultra High Frequency)帯を中心に公共用途，空港施設やイベント会場などの民生用途といったあらゆる場所で利用されており，周波数帯・送信出力電力の仕様は多種多様である。近年TETRA(Terrestrial Trunked Radio)を始めとする通信方式のデジタル化や無線機の小型化，低消費電力化が進み送信段電力増幅用デバイスでも低歪(ひず)み化，高効率化が求められている。

さらに業務無線機に使用される電子部品は表面実装への対応が進んでおり，電力増幅デバイスでも従来のマニュアル実装から表面実装による自動化への対応が要求されている。

三菱電機では，これらの要求に対応するため，車載用業務無線機に搭載する表面実装可能な12.5V動作の高出力MOSFET(Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor)“RD70HUF2”を開発した。

当社従来品のパッケージでは，金属フランジとセラミックキャップで形成したパッケージを使用していたが，この製品では，大量生産にも対応できるようプラスチックモールドパッケージを採用した。モールド構造を採用する上で，高出力MOSFETに必要な放熱性に優れたパッケージフレームを開発し，MOSFETチップについても，新規構造を開発し高周波特性を改善した。

この製品はVHF帯，UHF帯の両周波数で使用可能で，特にUHF帯の周波数530MHz，入力電力5.5Wで，出力電力75W(typ)，ドレイン効率65%(typ)の業界トップレベルの高周波性能を達成した。これら良好な特性によって業務用無線機の特性改善に大きく貢献できる。



高出力MOSFETディスクリートのパッケージトレンド(左)と，“RD70HUF2”の内部構造(右上)及びMOSFETの断面構造(右下)

既存品の“RD70HVF1”と“RD60HUF1”は金属フランジとセラミックキャップで形成したパッケージを使用していたが，今回開発の“RD70HUF2”では高出力用モールドパッケージとして新規設計し，小型化を実現した。新規に開発したMOSFETチップを適用することで高周波特性の改善を達成した。顧客に対し小型評価ボードを設計し，無線機プリント基板の増幅回路設計をサポートしている。

*ミヨシ電子㈱　**㈱シナジーテクニカ　***三菱電機㈱ 高周波光デバイス製作所

1. まえがき

近年，業務無線でTETRAを始めとする通信方式のデジタル化や無線機の小型化，低消費電力化が進み，送信段電力増幅用デバイスでも低歪み化，高電力効率化が求められている。

また，業務無線機に使用される電子部品は生産自動化のため，表面実装への対応が進んでおり，送信電力増幅デバイスについても，マニュアル実装から表面実装による自動化への対応が強まっている。

さらに，これまで当社はVHF帯とUHF帯で個別の高出力MOSFETデバイスを供給して来たが，部品共通化のため両周波数帯で使用できるデバイスが要求されている。

当社では，これらの要求に対応するため，車載用業務無線機に搭載する表面実装可能な12.5V動作の高出力MOSFETのディスクリートデバイス“RD70HUF2”の開発を行い，今年から量産を開始した。

開発課題は，大きな発熱を伴う高出力デバイスが基板に表面実装されていても無線機筐体(きょうたい)のヒートシンクから十分に放熱できるパッケージ構造の開発，デジタル業務無線機への対応やVHF帯とUHF帯の両周波数帯に使用可能なトランジスタ構造の開発であった。

本稿では，これらの課題を解決したデバイスパッケージの構造とトランジスタの構造及び，その高周波基本特性について述べる。

2. デバイスパッケージの構造

従来の高出力MOSFETでは金属フランジとセラミックキャップで形成したパッケージが使用されていたが，RD70HUF2では，無線機の生産自動化に対応するため表面実装が可能なプラスチックモールドパッケージを採用した。**図1**に外形写真を，**図2**にパッケージの内部構造を示す。

デバイスが基板に表面実装されていても無線機筐体のヒートシンクから放熱できるパッケージフレームを新規に開発した。

このパッケージのベースフレームは薄板のソース電極とMOSFETチップをダイボンドする厚板の放熱電極が一体形成されている。そのためこのベースフレームは部分的に厚みが異なっているため一般的に用いられるプレス製法でこれを得ることが難しく，今回は金属粉末の焼結法を用いることで一体成形を実現した。

図3にこのデバイスの放熱の手法を示す。デバイス上面に設けたソース電極とゲート・ドレイン電極を，無線機のプリント基板への表面実装用電極として使用する。これらの電極は表面実装によって電気的に無線機のプリント基板内の回路に接続される。他方，デバイス底面に設けた放熱電極を無線機筐体のヒートシンクに密着させることで，MOSFETチップで発生する熱をヒートシンクに放出する。

3. トランジスタの構造

当社では，高出力，高効率，高破壊耐量，そして低歪み化に向けてシリコン基板を用いたMOSFETの構造開発を続けており[(1)(2)(3)]，このデバイスにはこれらで培った技術を集積した新規MOSFETチップを搭載した。**図4**に新規MOSFETの断面構造を示す。

今回のMOSFETは，ウエハ薄板化とウエハ裏面電極の改良によって熱抵抗と接地抵抗を低減し，高出力化，高効率化を実現した。またチャネルP+／P層とドレインN－オフセット層の不純物濃度と，フィールドプレートの採用によって歪みの原因となるドレインコンダクタンスと出力容量，帰還容量を低減し，低歪み化を実現した。

さらにデバイスを広帯域で使用するためUHF帯での高利得とVHF帯での高負荷変動耐量を同時に確保する必要

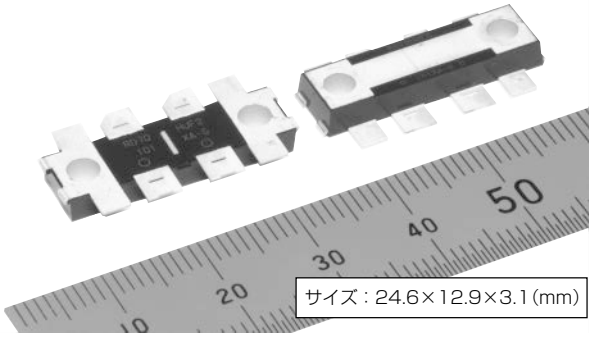


図1．RD70HUF2の外形

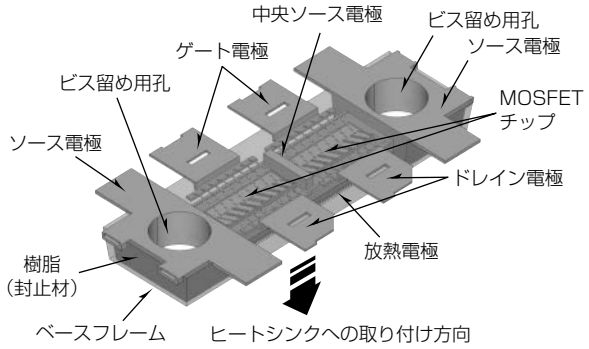


図2．パッケージフレームの構造

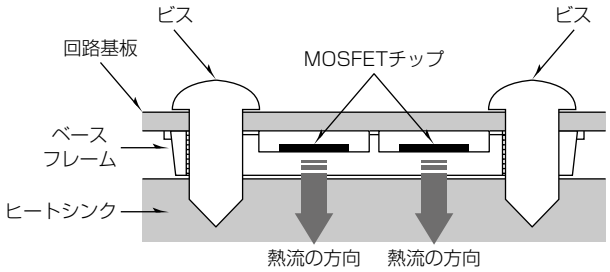


図3．デバイスの放熱方法

がある。このチップではゲート長短縮で利得を改善し，同時にドレインN層とシリコン基板のP－層をダイオードに用い反射電力をチップ裏面に逃がすことで高負荷変動耐量を実現した。

図5にMOSFETチップの外形を示す。放熱性向上のためMOSFETの動作領域を32セルに分割した。RD70HUF2には2チップを並列使用する。これらのMOSFET構造改善効果によって，従来品を上回る高周波特性を実現した。

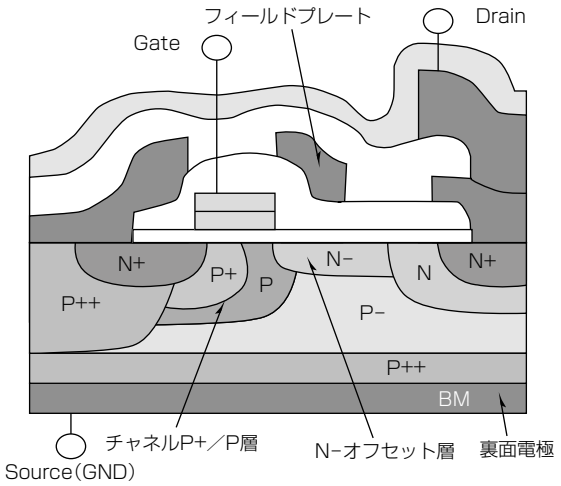


図4．MOSFETの断面構造

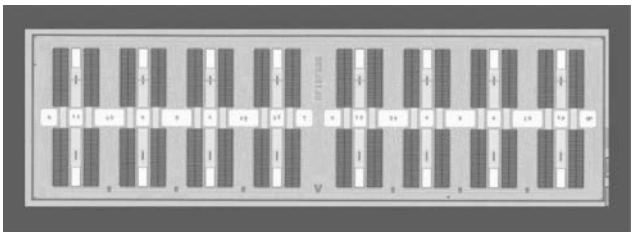


図5．MOSFETチップの外形

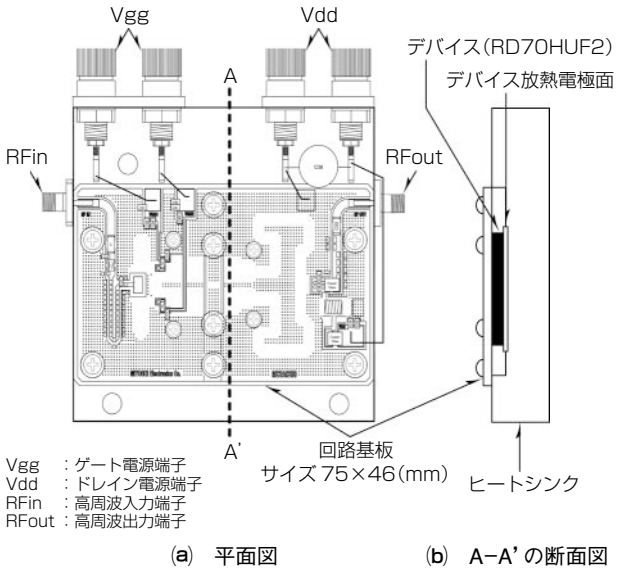


図6．デバイス拡販用評価ボード

4. デバイス評価ボード

無線機送信段の電力増幅器でMOSFETデバイスの性能を最大限に引き出すためには，回路設計及び実装方法が重要なポイントとなる。

RD70HUF2を用いた回路設計，その実装をサポートするために各種無線機の用途に対応した評価ボードを開発した。**図6**にそのデバイス評価ボードの一例を示す。

この評価ボードは，増幅回路を構成する，このデバイス1個を含む部品群が表面実装されたプリント基板をヒートシンクに取り付けた電力増幅器である。電源端子，各コネクタには容易に評価可能な汎用性のある部品を用いている。

さらに，この評価ボードのプリント基板のサイズは，当社従来品の評価用プリント基板に比べて約80%小型化しており，これを無線機の増幅回路へ適用することで，顧客の設計時間の短縮に貢献できる。

5. 高周波基本特性

表1と**表2**にこのデバイスの高周波基本特性を当社従来製品と比較して示す。このデバイスは先に述べた評価ボードに実装したときの高周波特性である。VHF帯では従来製品に比べて約10W飽和電力が向上し，UHF帯では，電力利得が約4dB向上している。さらに，従来製品に比べてドレイン効率が改善されており，同電力設定で5%以上改善している。

図7にはVHF帯とUHF帯での周波数依存性を示す。VHF帯では，136～174MHzの帯域整合状態で入力電力4.0W時，当帯域内で80W以上の出力電力が得られている。UHF帯では，450～520MHzの帯域整合状態で入力電力5.5W時，当帯域内で75W以上の出力電力が得られ，ドレイン効率も63%以上を達成している。特に，530MHzでの出力電力75W(typ)，ドレイン効率65%(typ)の高周波特性は業界トップレベルの性能である。

図8にはUHF帯業務無線機のデジタル変調信号を用いた電力利得と隣接チャネル漏洩(ろうえい)電力比(Adja-

表1．VHF帯における当社従来製品との比較

項目	条件	従来製品	開発品(今回)
VHF評価周波数	175MHz	RD70HVF1	RD70HUF2
飽和電力	4W入力時	83W	93W
ドレイン効率	4W入力時	58%	67%

表2．UHF帯における当社従来製品との比較

項目	条件	従来製品	開発品(今回)
UHF評価周波数	520MHz	RD60HUF1	RD70HUF2
電力利得	70W出力時	8dB	12dB
ドレイン効率	70W出力時	58%	63%

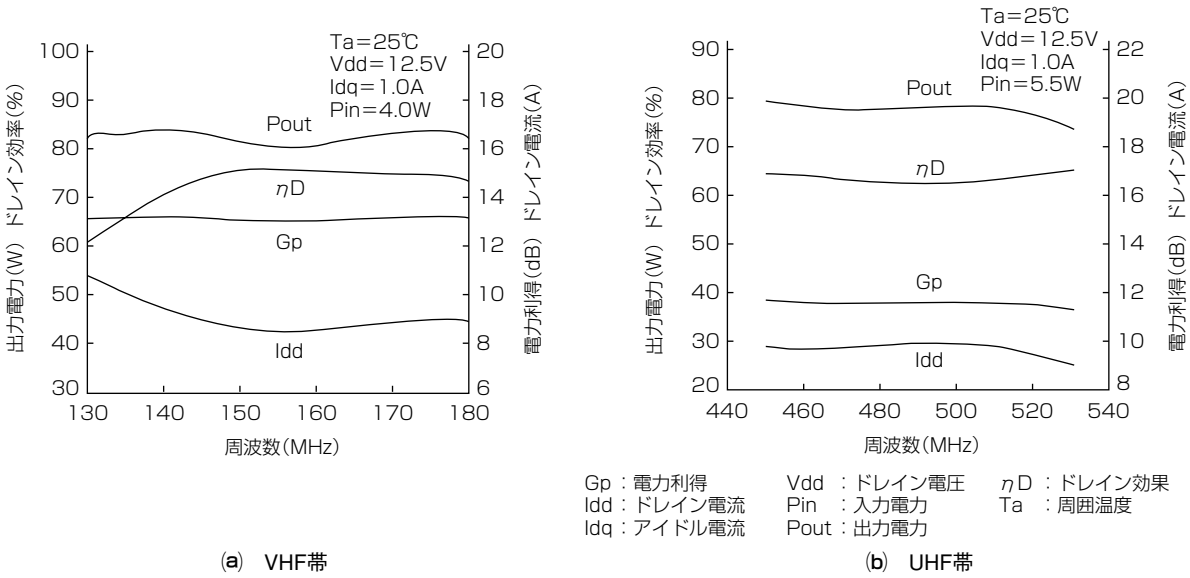


図7．業務無線機VHF帯／UHF帯に整合した高周波特性

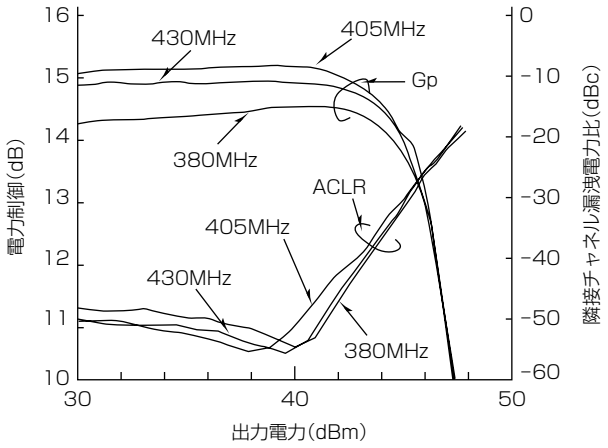


図8．電力利得・ACLR特性測定結果

cent Channel Leakage Ratio：ACLR)の出力電力依存性を示す。線形動作から3dB利得圧縮時の出力電力40dBmで電力利得は15dB，ACLRは−50dBcと良好な特性が得らている。これらの良好な特性によって業務用デジタル無線機の特性改善に大きく貢献できる。

6. む す び

無線機のプリント基板への表面実装が可能で無線機筐体のヒートシンクで放熱できる高出力MOSFETデバイス“RD70HUF2”を開発した。VHF帯・UHF帯両帯域での使用が可能であり，周波数530MHzでは入力電力5.5Wで，出力電力75W(typ)，ドレイン効率65%(typ)と業界トップレベルの特性を得ている。さらに，デジタル方式に対応した低歪み化を実現しており，車載用業務無線機の低コスト化，高性能化に貢献できるものと考える。

参 考 文 献

(1) 追田信也，ほか：RF-MOSFETデバイスシミュレーション技術，三菱電機技報，**70**，No.2，141～184（1996）
(2) 藤田光一，ほか：高周波高出力RFMOSFET，三菱電機技報，**74**，No.6，397～400（2000）
(3) 藤田光一，ほか：基地局用 LDMOSFET のドレイン効率改善，電子情報通信学会総合大会講演論文集 2003年 エレクトロニクス(2)，69（2003）