

業務無線機用 高出力MOSFETモジュール

中村謙二* 池田圭吾**
高瀬陽平* 藤田光一***
穂山英輔*

High Power MOSFET Module for Professional Radio

Kenji Nakamura, Yohei Takase, Eisuke Akiyama, Keigo Ikeda, Koichi Fujita

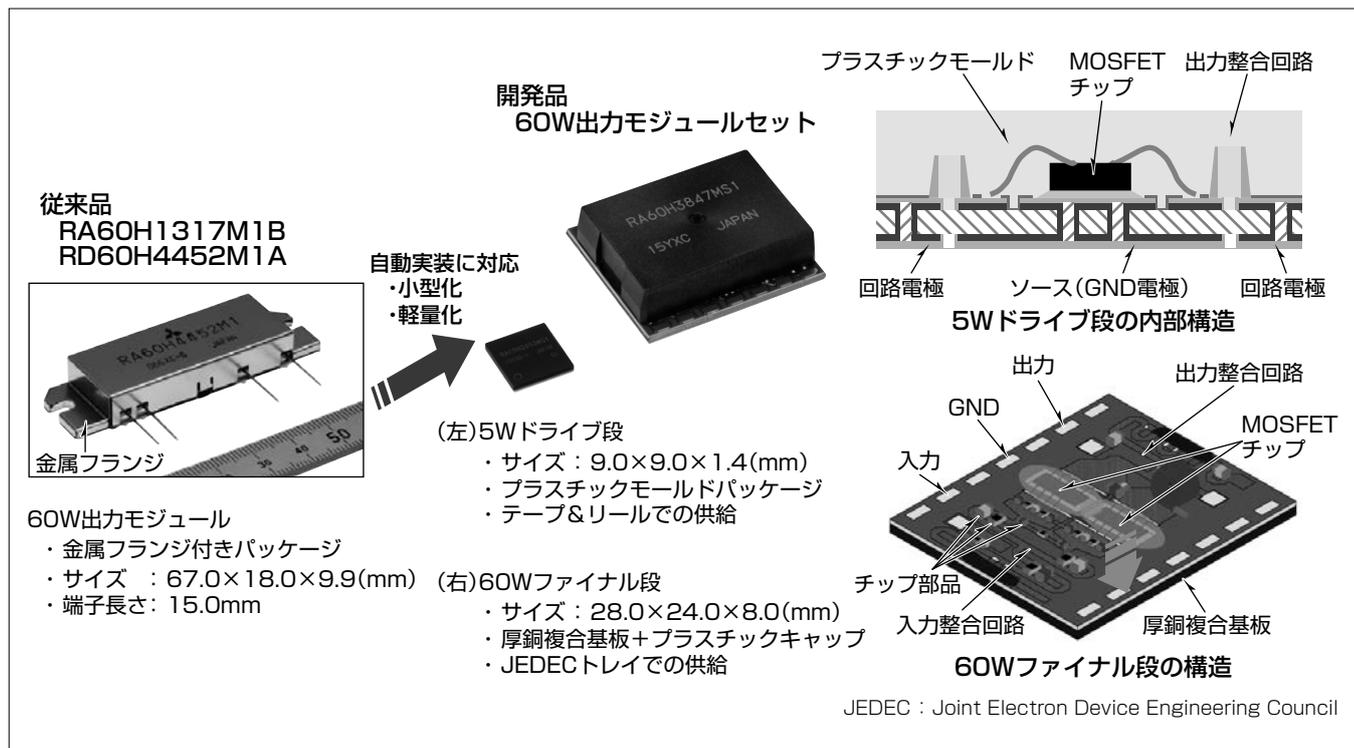
要 旨

業務無線機は、VHF (Very High Frequency) 帯とUHF (Ultra High Frequency) 帯を中心に公共安全(警察、消防、防災)や交通(鉄道、船舶、タクシー、空港)、イベント、レストランなどの民生用途などに広く使用されている。近年、無線機の低価格化、小型・軽量化が進み、送信段電力増幅用デバイスでも小型・軽量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プリント基板への自動実装が進んでおり、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自動実装可能なUHF帯12.5V動作の高出力MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor) モジュール(以下“モジュール”という)“RA05H3353MS1”、“RA60H3847MS1”及び“RA60H4453MS1”を開発した。また、VHF帯12.5V動作の高出力モジュール“RA05H1317MS1”及び“RA60H1317MS1”を開発した。

従来品のモジュールパッケージは、大型の金属放熱板と

ガラス・エポキシ基板をはんだ付けした構造であったが、この製品では自動実装のためドライブ段モジュールとファイナル段モジュールに分け、自動実装可能な大きさに分割するとともに、ファイナル段モジュールだけ放熱板を使用することで軽量化を図り、高放熱構造は厚銅複合基板の適用によって実現した。また、高出力MOSFETに要求される放熱性を確保するため、MOSFETとパッケージの接合材としてRoHS(Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment)指令に適合する高熱伝導率ダイボンド材を採用し、厚銅(厚さ1mm)の放熱板にMOSFETを直接搭載する構造を開発した。さらに、MOSFETチップについても、信頼性を更に高めた構造へ改良した。この製品は、UHF帯の周波数530MHz、入力電力10mWで、出力電力85W (typ.)、総合効率52% (typ.)、VHF帯の周波数175MHz、入力電力10mWで、出力電力85W (typ.)、総合効率60% (typ.)の業界トップレベルの効率を実現した。



高出力MOSFETモジュールのパッケージトレンドと5Wドライブ段の内部構造及び60Wファイナル段の構造

5Wドライブ段と60Wファイナル段に分け、それぞれに最適な構造とすることで小型・軽量化を実現した。

1. ま え が き

近年、DMR(Digital Mobile Radio)をはじめとする無線機の低価格化、小型・軽量化がますます進み、送信段電力増幅用デバイスでも小型・軽量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自動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自動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UHF帯12.5V動作の高出力モジュール“RA05H3353MS1”、“RA60H3847MS1”及び“RA60H4453MS1”を開発した。また、VHF帯12.5V動作の高出力モジュール“RA05H1317MS1”及び“RA60H1317MS1”を開発した。

この開発での課題は、大きな発熱を伴う高出力デバイスを基板に実装しても無線機筐体(きょうたい)のヒートシンクから十分放熱できる構造、リフロー温度に耐えられる高耐熱構造、小型化パッケージに収まる小型な高周波整合回路の開発であった。

本稿では、これらの課題を解決した高出力MOSFETモジュールの構造、及びその高周波基本特性について述べる。

2. 高出力MOSFETモジュールの構造

従来の高出力MOSFETモジュールの構造は、ねじ止めできるようにフランジ部を持つ金属板の上に整合回路基板及びFET(Field Effect Transistor)をはんだで接合した構造であり、モジュールを無線機筐体に直接ねじ止めし、モジュールで発生する熱を無線機筐体へ放熱していた。端子はリード線をはんだ付けすることで電気的接続を行っていた。図1に従来のモジュールを車載用業務無線機へ実装した例を示す。

高出力モジュールを自動実装にするには、リード線を表面実装対応電極パッドに置き換えるだけでなく、次の2つの課題に対する検討が必要であった。

2.1 小型・軽量化

従来の高出力モジュールの質量は約30gあり、その大半を占めるのは銅が主材料である放熱用の金属板(67.0×19.4×2.3(mm))である。

三菱電機が今回開発したモジュールでは、ファイナル段とドライブ段にモジュールを分割し、ファイナル段だけ放熱板を設けることで放熱用の板材料を28×24×1(mm)まで小型化し、製品の質量を従来の約1/3に低減した。また、ドライブ段は整合回路を分布定数から集中定数に変更することで整合回路を小型化し、9×9(mm)のサイズで5W出力の2段増幅器を実現した。これらの小型・軽量化によって、高出力モジュールを自動実装することが可能となり、無線機内での高出力モジュールの占有面積を半減(三

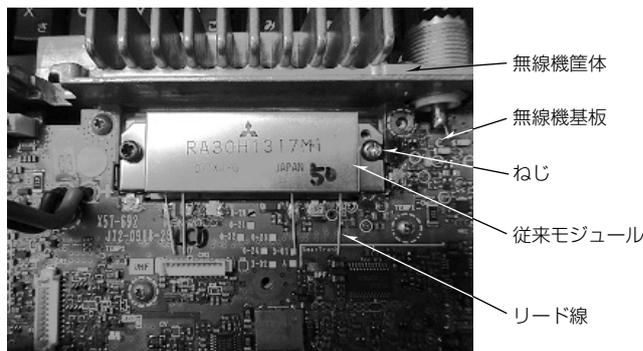


図1. 従来モジュールを車載用業務無線機へ実装した例

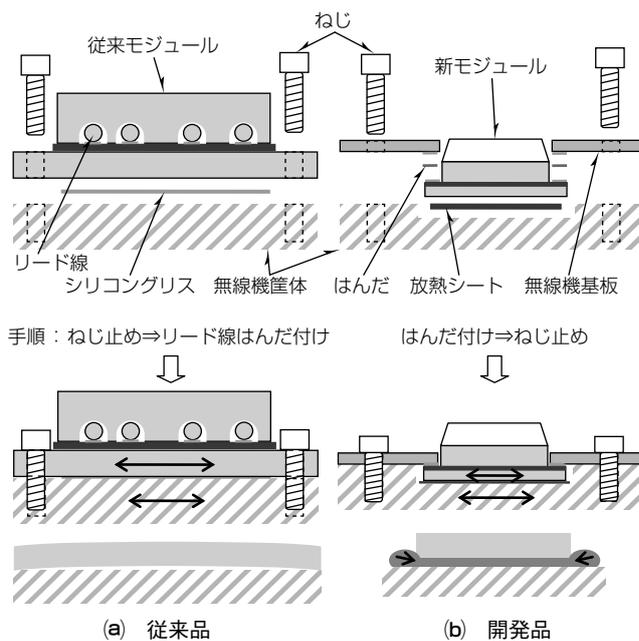


図2. モジュール放熱構造の従来品と開発品の比較

菱電機従来比)させた。

2.2 高出力モジュールの放熱

図2にモジュールの放熱構造の従来品と開発品との比較を示す。従来モジュールは無線機筐体とモジュール間にシリコングリスを塗布し、直接ねじ止めすることでモジュールの熱を無線機筐体へ放熱していた。この実装方法では、モジュール電極と無線機の基板との熱膨張係数による位置ズレはリード線の弾性で吸収させていた。しかし、リードのない新モジュールの構造では無線機基板の電極パッドとはんだとの間に応力が集中する。この問題を解決するために、新モジュールでは無線機基板の電極パッドとの接続はモジュールの基板側で行い、モジュールの裏面の熱膨張に追従可能な放熱シートと放熱ポリマ樹脂を介して放熱する構造とした。

3. トランジスタの構造

三菱電機は、高出力、高効率、高破壊耐量、低歪(ひずみ)を特徴とするシリコン基板を用いたMOSFETの構造開

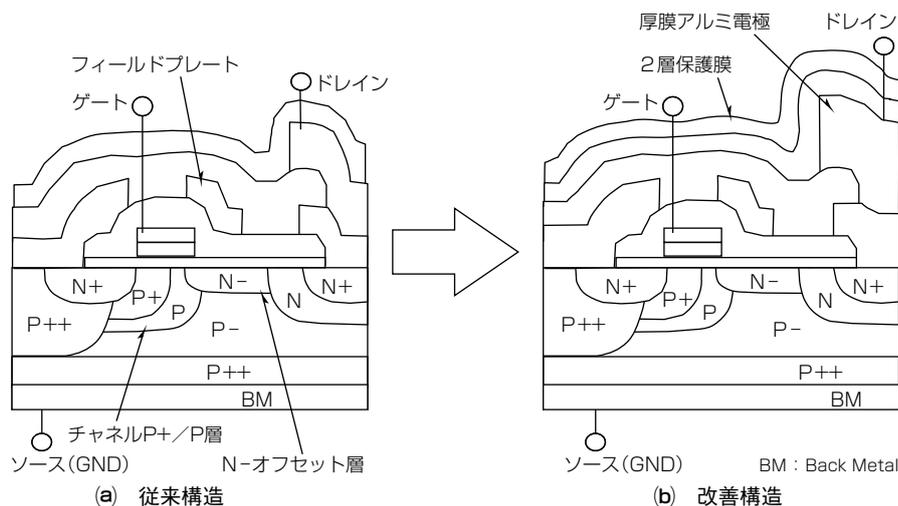


図3. 改善前後のMOSFETの断面構造

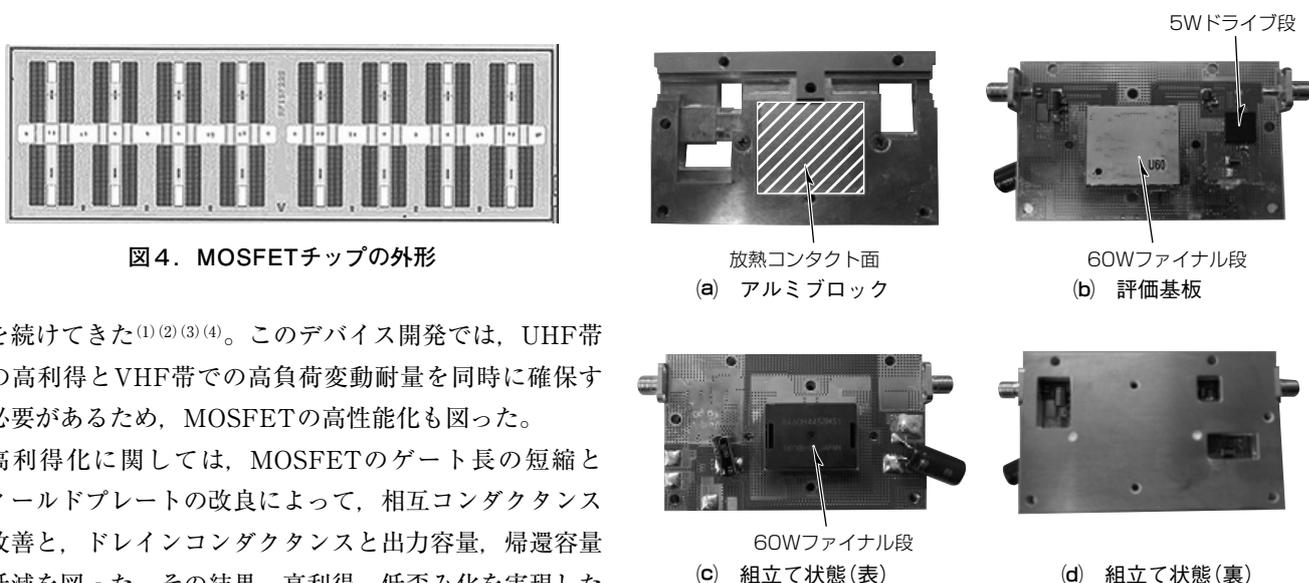


図4. MOSFETチップの外形

(a) アルミブロック

(b) 評価基板

(c) 組立て状態(表)

(d) 組立て状態(裏)

図5. MOSFETモジュール評価キット

発を続けてきた⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。このデバイス開発では、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があるため、MOSFETの高性能化も図った。

高利得化に関しては、MOSFETのゲート長の短縮とフィールドプレートの改良によって、相互コンダクタンスの改善と、ドレインコンダクタンスと出力容量、帰還容量の低減を図った。その結果、高利得、低歪み化を実現した。また、高負荷変動耐量化に関しては、ドレインN領域とシリコン基板のP領域に形成したダイオードを介して反射電力をチップ裏面に逃がす構造を採用することで高負荷変動耐量を実現した⁽⁴⁾。さらに、このMOSFETには基板加熱スパッタ法による厚膜アルミ電極とシリコン酸化膜とシリコン窒化膜による2層保護膜を適用し、従来MOSFETに比べてドレイン電極のエレクトロマイグレーション寿命を約2倍改善した。図3に改善前後のMOSFETの断面構造を示す。

図4に60WモジュールRA60H4453MS1に用いた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、2チップを並列使用する構成とした。

4. 高出力モジュールの評価キット

無線機送信部の電力増幅器でMOSFETモジュールの性能を最大限に引き出すためには、実装基板設計と熱設計が重要である。

今回開発した新規モジュールを評価するための基板と放熱ブロックの設計見本として、評価キットを合わせて開発した。図5に評価キットの外観を示す。

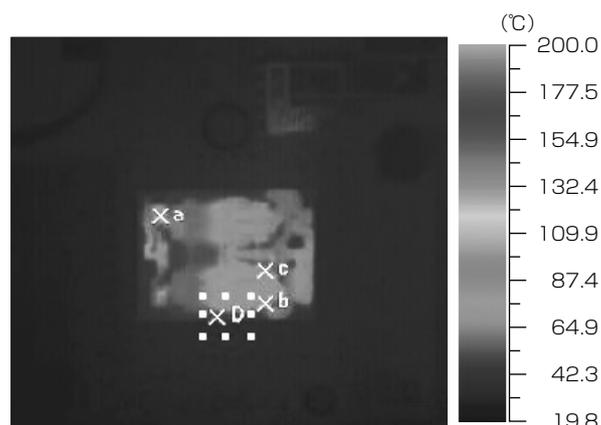


図6. 60Wファイナル段の内部温度

この評価キットをヒートシンクに装着し、1分間のRF (Radio Frequency) 送信動作(出力ON状態)経過後の60Wファイナル段の内部温度を放射温度計で観察した代表例を図6に示す。これは、RA05H3353MS1(ドライブ段)とRA60H4453MS1(ファイナル段)のモジュールセットを搭

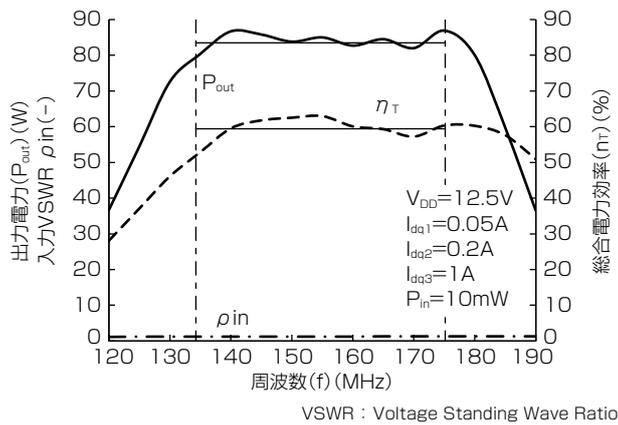


図7. VHF帯モジュールセットの周波数特性

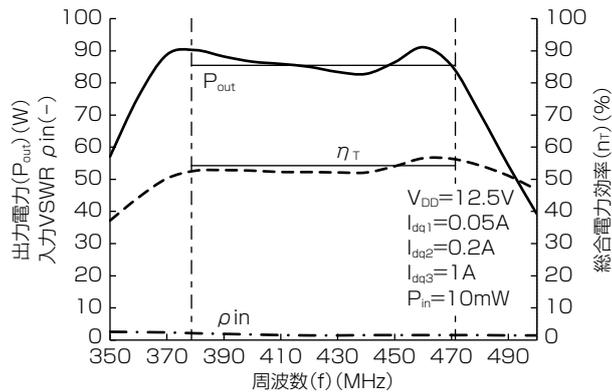


図8. UHF帯低域モジュールセットの周波数特性

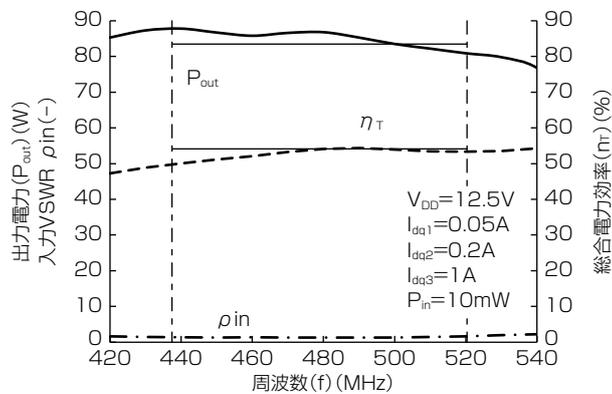


図9. UHF帯高域モジュールセットの周波数特性

載した評価キットを用いて信号周波数530MHzで動作させた例である。出力電力75W、環境温度 $T_a=25^\circ\text{C}$ で、モ

ジュールケース温度(T_c)は約 56°C 、MOSFETの接合部温度(T_j)は約 89°C と低く、良好な放熱性を持っていることを確認した。

5. 高周波基本特性

図7にVHF帯モジュールセット(RA05H1317MS1とRA60H1317MS1)、図8にUHF帯低域モジュールセット(RA05H3353MS1とRA60H3847MS1)、図9にUHF帯高域モジュールセット(RA05H3353MS1とRA60H4453MS1)に対する高周波基本特性の周波数特性をそれぞれ示す。図7、図8及び図9に示すように、出力電力85W(帯域内平均)、電力利得39dB、総合電力効率52~60%程度という業界トップレベルの性能が得られている。

これらの良好な特性は、車載用業務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自動実装が可能で、無線機筐体のヒートシンクへ放熱可能な構造を持った高出力MOSFETモジュール5品種を開発した。この製品群は、業務無線機帯域であるVHF帯とUHF帯の両帯域をカバーし、高周波基本特性に関しても入力電力10mWで出力電力85W(typ.)、総合電力効率52~60%(typ.)という業界トップレベルの特性を実現した。

この製品群は、モジュールの小型・軽量化も合わせて実現しており、車載用業務無線機の低コスト化、高性能化に大きく寄与することが期待できる。

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, 181~184 (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)
- (4) 森 和人, ほか: 業務無線機用高出力MOSFETデバイス, 三菱電機技報, **86**, No.6, 365~368 (2012)