# 鉛フリー IGBT モジュール



西村　芳孝（にしむら　よしたか）　大西　一永（おおにし　かずなが）　望月　英司（もちづき　えいじ）

## 1　まえがき

近年，環境問題への対応から，エレクトロニクス実装において従来の SnPb はんだの代替として鉛フリーはんだの実用化（欧州 RoHS〈注〉規制への対応）が進められている。このような背景から IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）モジュールにおいても鉛フリー化が望まれている。

富士電機では 1998 年からチップ下はんだに鉛フリーはんだを用い，パワーサイクル耐量の向上に成功している。今回，IGBT モジュール構造において，セラミック絶縁基板と放熱用銅ベースの接合に用いられている SnPb はんだに代わる鉛フリー技術を確立したので報告する。

## 2　鉛フリー化における課題

**図 1** に IGBT モジュールの模式図および各部材の熱膨張係数を示す。パワーモジュールは放熱性を優先させて構造設計を行っている。一般的に IGBT モジュールでは，放熱ベースとセラミック基板の熱膨張係数の大きく異なるものをはんだで接合している。はんだ接合時および周囲温度の変化により放熱ベースは変形し，はんだ部に応力を発生する。この応力がはんだ部にクラックを発生させる。よって，温度サイクル試験における信頼性耐量を確保することが鉛フリーはんだを用いるうえでの課題である。

〈注〉RoHS：電気電子機器に含まれる特定有害物質の使用制限

図 1　IGBT モジュール模式図

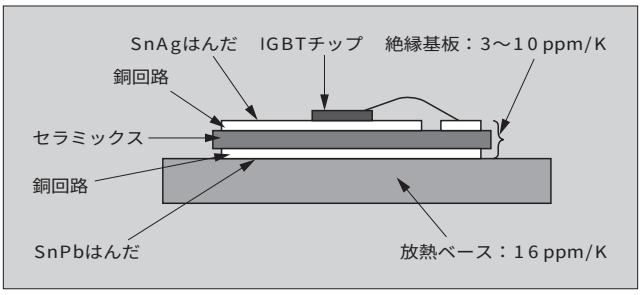



図 2　周囲温度と放熱ベース変形量

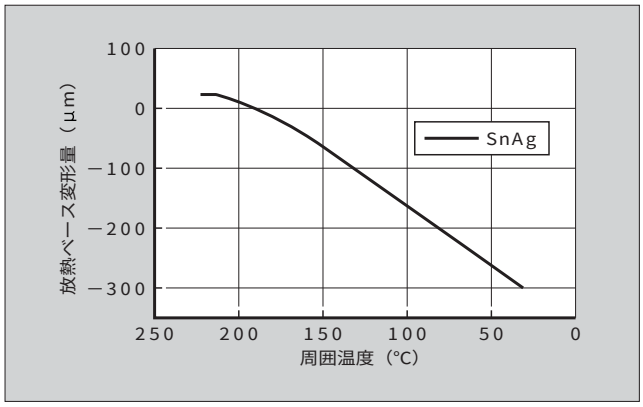



表 1　各種セラミックスおよび銅の特性

| 分　類 | | 熱膨張係数 | 熱伝導率 |
|---|---|---|---|
| セラミックス | アルミナ | 7 ppm/K | 20 W/(m・K) |
| | 窒化アルミニウム | 4 ppm/K | 170 W/(m・K) |
| | 窒化けい素 | 3 ppm/K | 70 W/(m・K) |
| 放熱ベース | 銅 | 16 ppm/K | 390 W/(m・K) |

**図 2** に周囲温度と放熱ベース変形量を示す。はんだ融点以下の温度と放熱ベースの変形量は比例関係にあることが分かる。このことから放熱ベースの変形は，絶縁基板と放熱ベースの熱膨張係数差のみで発生していることが分かる。つまり，はんだ付け後の放熱ベース変形量を小さくすることで温度サイクル試験耐量を向上させることが可能と考えた。

## 3　構造設計の検討

熱膨張係数差による放熱ベース変形量を抑制するために，構造検討を行った。

**表 1** に一般的な絶縁基板に用いられる各種セラミックスおよび放熱ベース材の銅の特性を示す。アルミナ基板は安価で強靭（きょうじん）であること，窒化アルミニウム基

**西村　芳孝**

パワー半導体の構造設計・開発に従事。現在，富士電機デバイステクノロジー株式会社半導体事業本部半導体工場アセンブリ開発部。

**大西　一永**

IGBT モジュールの構造開発に従事。現在，富士電機デバイステクノロジー株式会社半導体事業本部半導体工場アセンブリ開発部。

**望月　英司**

半導体パッケージのコア技術開発に従事。現在，富士電機デバイステクノロジー株式会社半導体事業本部半導体工場アセンブリ開発部グループマネージャー。エレクトロニクス実装学会会員。

板は熱伝導率がよいことを特徴とし，IGBT モジュールの絶縁基板として使用されている。

鉛フリー IGBT モジュールにおいて温度サイクル試験耐量を向上させるためには，熱膨張係数が放熱ベースに近いアルミナを用いるのが有利であると考えられる。

## 4　実験結果

### 4.1　アルミナセラミック基板

各種絶縁基板を用いた場合のはんだ付け後放熱ベース変形量を**図3**に示す。

(1)　窒化アルミニウムからアルミナに変更することではんだ付け後の変形量は 640 μm から 460 μm に減少する。

(2)　アルミナセラミックス厚みを 0.635 mm から 0.25 mm にすることにより，はんだ付け後の変形量は 460 μm から 330 μm に減少する。

セラミック基板はセラミックス厚を薄くすることにより応力に対し変形しやすくなる。そのため，熱膨張係数差により発生する応力に対しセラミックスが変形することで放熱ベース変形量は小さくなる。

絶縁基板と金属ベースの熱膨張係数差により応力が発生していることから，各種セラミック絶縁基板を用い温度サイクル試験を実施した。

**図4**に温度サイクル試験回数と発生したはんだクラック長さを示す。窒化アルミニウムと比較して放熱ベース変形量の少ないアルミナ基板は，はんだクラックが少なく温度サイクル試験耐量が高いことが分かる。

### 4.2　はんだ材の検討

**図5**に各種はんだ材の固相線温度と放熱ベース変形量についての関係を示す。固相線温度と放熱ベース変形量は比例関係にあることが分かる。放熱ベース変形量を少なくするためには，融点の低いはんだを選択することが効果的である。放熱ベース変形量を小さくするために，融点の低い SnAg はんだおよび SnAgIn はんだを選び検討を行った。

SnAgIn はんだと SnAg はんだの応力－ひずみ曲線を**図6**に示す。SnAgIn はんだは，SnAg はんだと比較し強度が約 1.5 倍向上している。また，125 ℃における強度も同様の傾向である。はんだ種類による温度サイクル試験耐量への影響を調査するため，現在，アルミナ基板を使用している実機品において温度サイクル試験を実施した（アルミナセラミックス厚み 0.32 mm，銅はく厚み 0.25 mm）。

**図7**，**図8**に超音波探傷によるはんだ部調査結果を示す。SnAg はんだを用いた場合，温度サイクル試験 300 回で約 30 %のクラックが発生しているのに対し，新しく開発した SnAgIn はんだでは，ほとんどクラックが発生しておらず，従来の鉛入りはんだとほぼ同等の信頼性である。

**図9**に，はんだクラックの長さとはんだ厚みの関係を示す。SnAgIn は SnAg よりはんだ厚みの影響が少ないことが分かる。

図3　各種絶縁基板と放熱ベース変形量

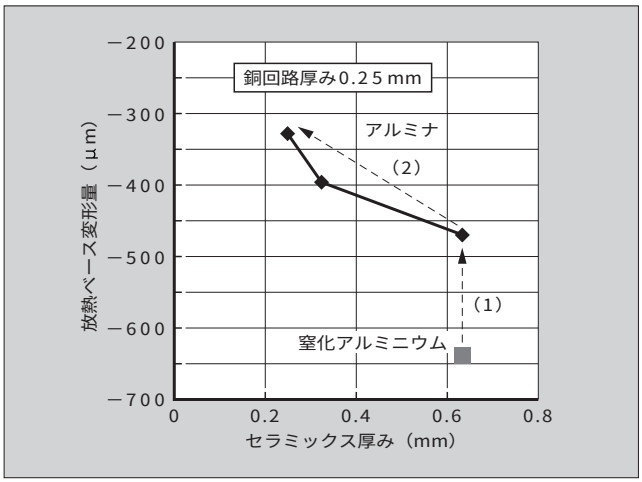



図4　温度サイクル試験回数とはんだクラック長さ

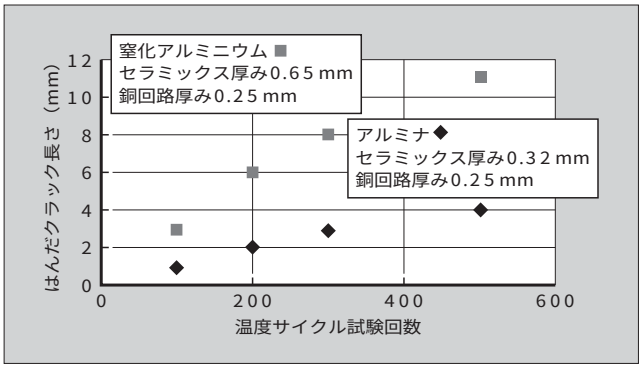



図5　はんだ融点と放熱ベース変形量

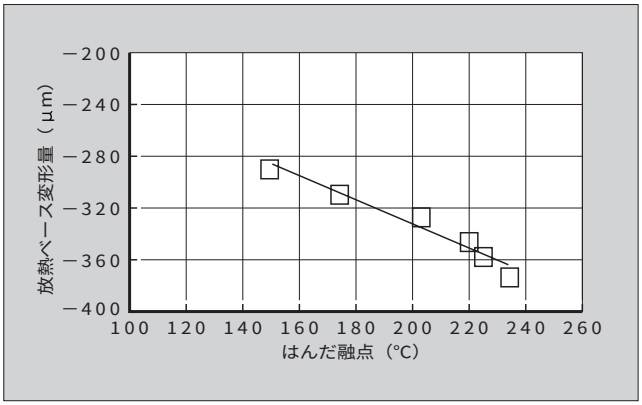



図6　SnAg はんだと SnAgIn はんだの応力－ひずみ曲線

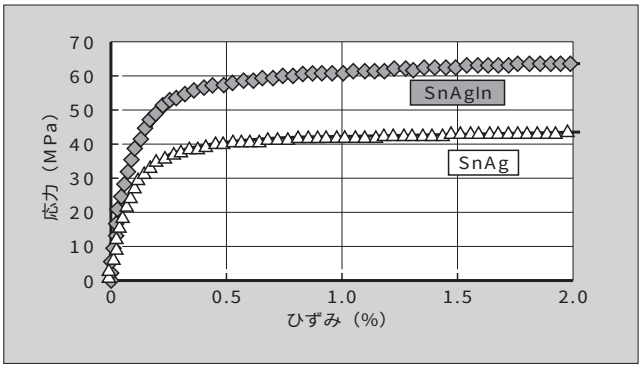


図７　温度サイクル試験後の超音波探傷観察

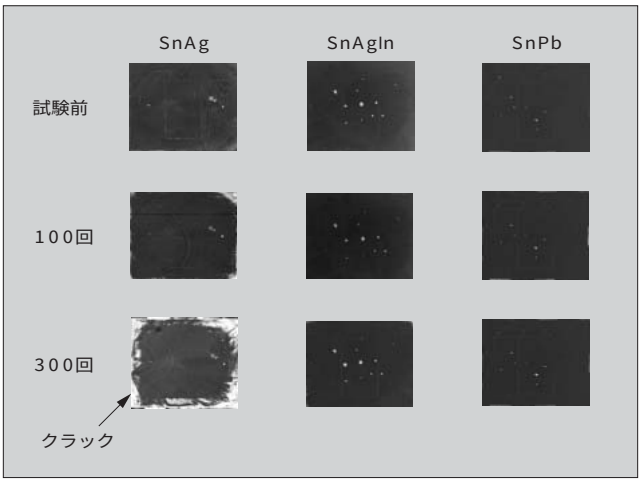



図８　温度サイクル試験回数とはんだクラック長さ

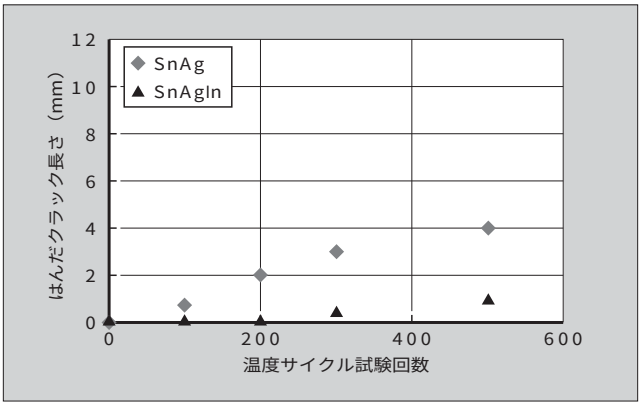



図９　はんだ厚みとクラック長さの関係

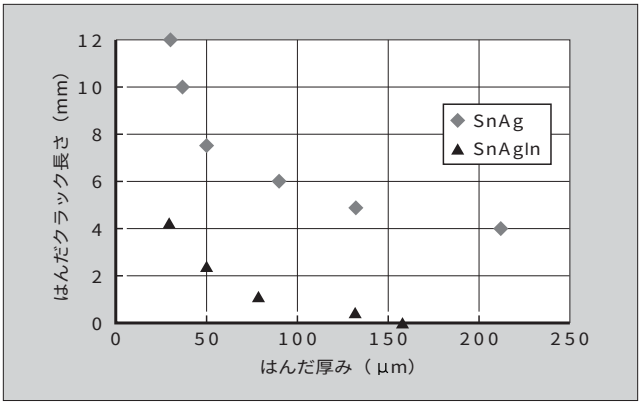



**図10**に温度サイクル試験前後におけるはんだ微細組織観察を示す。SnAg 系はんだは温度サイクル試験により粒子の凝集が起きている。一方，SnAgIn はんだの微細組織は変化していない。一般的に粒子の粗大化により強度は低下する。SnAg に In を添加することにより粒子の粗大化が防止されたことが温度サイクル試験耐量向上の理由の一つと考えられる。

図10　はんだ微細組織

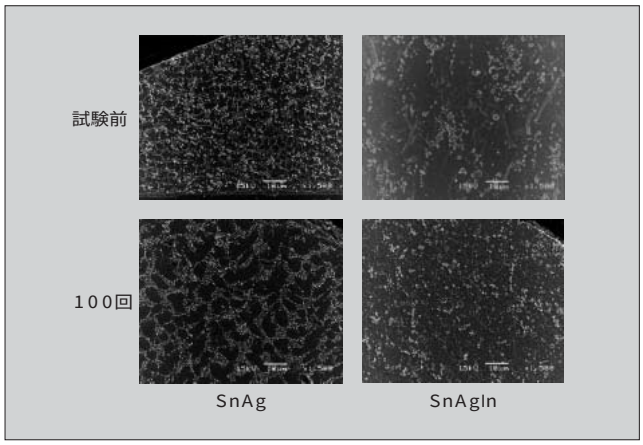
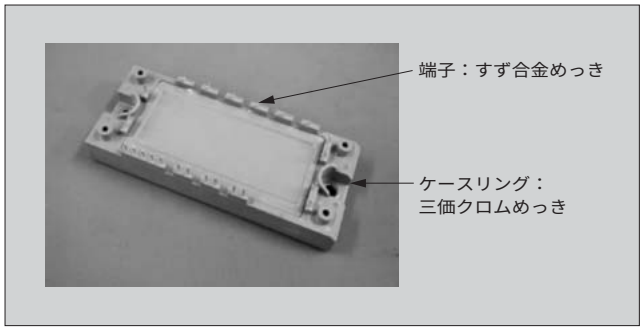



図11　富士電機の RoHS 指令対応 IGBT モジュール




## 5　SnAgIn はんだを用いた IGBT モジュール製品

**図11**に富士電機の RoHS 指令対応 IGBT モジュールを示す。この製品は鉛，六価クロムを使用していないが，従来の鉛入りはんだと同等の製品信頼性を確保している。

## 6　厚銅はくアルミナ基板による高信頼性化

さらに高信頼性化を図るため，セラミック絶縁基板の熱膨張係数を放熱ベースに近づけることを検討した。**図12**に銅回路厚みを変更した際の各種セラミック絶縁基板熱膨張係数について FEM（有限要素法）解析結果を示す。厚銅回路基板を用いることでセラミック絶縁基板の熱膨張係数が大きくなることが分かる。

厚さ 0.25 mm のアルミナセラミックスで銅はくの厚みを変化させた絶縁基板を用い放熱ベースの変形量を調査した銅はく厚みを 0.25 mm から 0.5 mm に増加させることにより放熱ベース変形量を約 100 μm 少なくすることができた。このことから銅はくを厚くすることにより実際にセラミック絶縁基板の熱膨張係数が大きくなっていることが分かる。

銅はくを厚くした絶縁基板を用いたサンプルの温度サイクル試験を実施した（**図13**）。銅はく厚み 0.25 mm では 300 回からクラックが発生した。銅はく厚みを 0.5mm に

図 12　銅回路厚みと絶縁基板熱膨張係数の関係

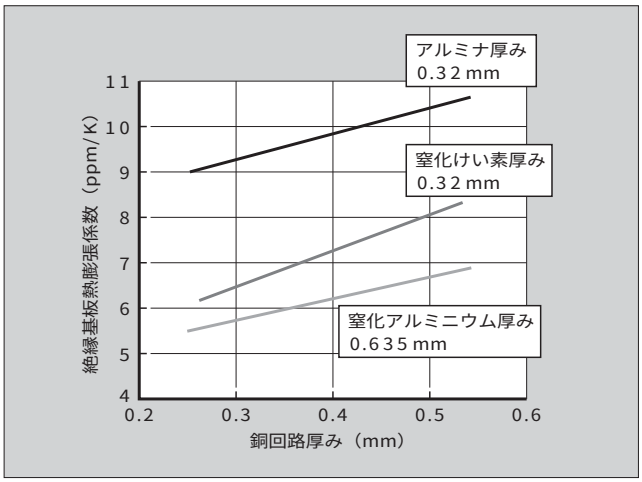



図 13　温度サイクル試験回数とはんだクラック長さの関係

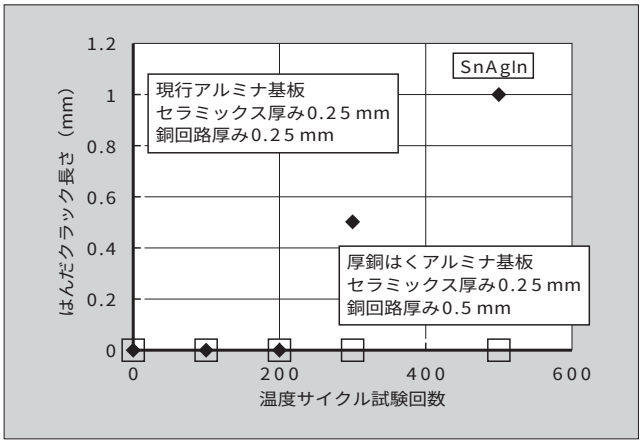
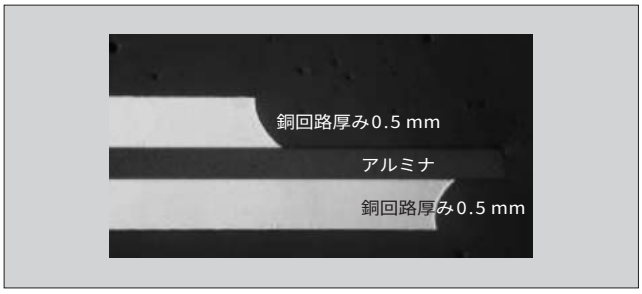



図 14　アルミナ DCB 基板の断面




することで 500 回経過時でもクラックが発生していない。銅はくを厚くすることにより温度サイクル試験におけるクラックの進展を抑制することに成功した。**図14**にアルミナセラミックスに 0.5 mm の銅はくを接合したアルミナ DCB（Direct Copper Bonding）基板の断面を示す。

また，銅はくを厚くすることにより熱抵抗が改善することが判明している[(2)]。放熱ベース付き構造においても，銅はくの厚みを 0.25 mm から 0.5 mm に増加させることにより熱抵抗を約 15 %低下させることに成功した。

## 7　あとがき

アルミナセラミック絶縁基板と SnAgIn 系はんだを用いることにより SnAg 系はんだより優れた温度サイクル試験耐量を持つ鉛フリー IGBT モジュール技術を確立した。また銅はくを厚くしたアルミナセラミックスを用いることにより低い熱抵抗を確保しつつ鉛フリー化において高い信頼性を確保することができた。

富士電機は，この技術を用いた鉛フリー IGBT モジュールを製品展開することで世界の環境保護に貢献する所存である。

### 参考文献

(1)　Morozumi, A. et al. Reliability of Power Cycling for IGBT Power Semiconductor Modules. IEEE Transactions On Industry Applications. vol.39, no.3, 2003-05/06, p.665-671.

(2)　Nishimura, Y. et al. New generation metal base free IGBT module structure with low thermal resistance. in Proc. 16th ISPSD. 2004, p.347-350.

e-Front runners

＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。