

耐熱無酸素銅 TOFC™ の開発

Development of Heat-Resistant Oxygen-Free-Copper TOFC

1. はじめに

電力制御や変換に不可欠なパワー半導体は、電気自動車 (EV)、再生可能エネルギー、産業機器など幅広い分野で活躍しています。近年、カーボンニュートラルの推進や省エネニーズの高まりにより、使用半導体は従来の Si から SiC や GaN といった次世代材料へと急速にシフトしています。これにより、デバイスは高効率化・高出力化を実現する一方で、使用温度の上昇に伴う新たな課題が顕在化しています。

特に、モジュール内の半導体チップ、セラミックス、樹脂それぞれと銅との熱膨張係数が異なることから、使用時の発熱によって生じる応力により部材間の接合界面での剥離や割れが発生したり、はんだ付けや樹脂との接合時の加熱により、基板や端子に使用される無酸素銅の軟化や反りが発生し接合信頼性を低下させます。

これら技術課題に応えるべく、高温下でも強度を維持する「耐熱性」と、熱サイクルでの反り低減が期待できる「低ヤング率※」を兼ね備えた新しい無酸素銅 TOFC™ を開発しました。この

TOFC はパワー半導体モジュールの断面模式図 (図 1) に示した放熱基板や端子用途に好適な材料です。

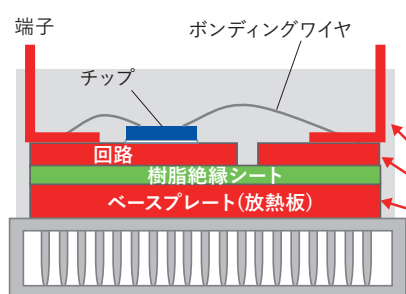
※ヤング率: 材料が弾性変形する際の応力とひずみの比例定数で、縦弾性係数とも呼ばれ、材料の硬さや変形のしにくさを表す。この値が大きいほど硬く、変形しにくい材料となる。

2. 開発材の特性

当社では一般無酸素銅 (C1020) に加え、高温接合時の結晶粒粗大化を抑制する耐熱無酸素銅 GOFC® を量産していますが、この GOFC は一般無酸素銅 (C1020) と軟化温度は同等であり、ヤング率も 300℃ 以上に加熱すると C1020 と同等となります。そこで上述の課題を解決すべく、当社独自の材料設計技術と製造技術により低ヤング率耐熱無酸素銅 TOFC を開発しました。

その TOFC の耐熱特性を図 2、図 3 に示します。図 2 は等時軟化曲線で C1020、GOFC、TOFC について、200℃ から 600℃ で各温度 30 分保持した後の硬さの変化を示しています。C1020 や GOFC では 300℃ 近傍で急激に硬度の軟化が見られますが、TOFC は 550℃ まで一定の強度を維持します。図 3 は同熱処理

例①: 樹脂絶縁基板、片面冷却モジュール



例②: セラミックス絶縁基板、両面冷却モジュール

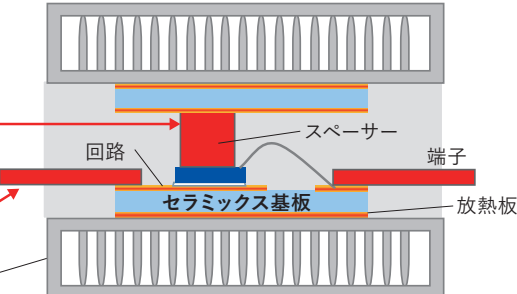


図 1 構造の異なるパワーモジュールでの TOFC 適用部位の例
Examples of TOFC application points in power modules with different structures.

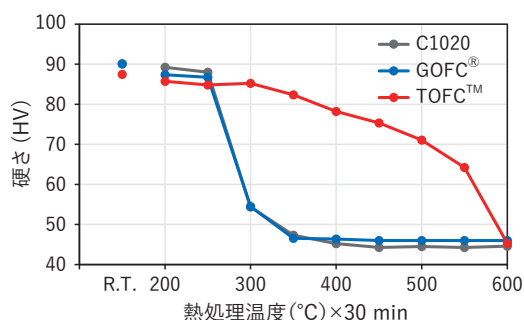


図 2 熱処理による硬さの変化
Hardness change with heat treatment.

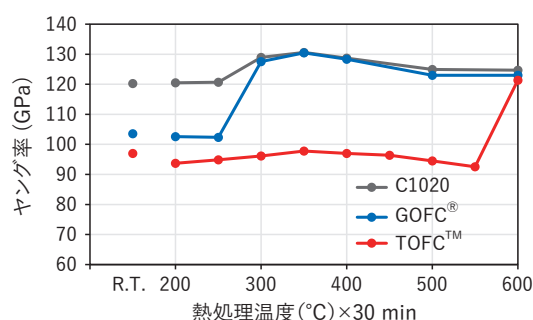


図 3 熱処理によるヤング率の変化
Young's modulus change with heat treatment.

後のヤング率変化を示しています。C1020やGOFCでは300℃近傍で大きく変化、ヤング率は上昇し120 GPa以上となるが、TOFCでは300℃を超え550℃付近まで100 GPa以下の低いヤング率を維持することが出来ました。

これらより、TOFCをパワーモジュールの放熱基板や端子などに使用することで、はんだ付けや樹脂接合が行われる300℃以上の温度でも基材（無酸素銅）の硬さが維持され、基板や端子の反りや変形抑制が可能と想定しています。さらに、TOFCは300℃以上でも低いヤング率を維持するため、パワー半導体使用時の接合界面での熱応力の低減が期待されます。

表1に今回開発したTOFCと既存製品のGOFC、C1020の諸特性を示します。いずれも無酸素銅のため、パワーモジュールの各部材で求められる優れた導電率や熱伝導率を有しています。

一方、TOFCは、C1020に対して室温での機械的特性はわずかに低いものの、上述の通り耐熱性は大幅に改善され、これまでC1020やGOFCでは得られなかった低ヤング率を実現しています。これら新しい機能性を付与したTOFCは、次世代のパワー半導体用の無酸素銅として適していると考えられます。

『TOFC』は古河電気工業株式会社の商標です（出願中）。

『GOFC』は古河電気工業株式会社の日本における登録商標です。

<製品お問い合わせ先 (TOFC) >

営業統括本部 電装エレクトロニクス営業部

お問い合わせフォーム：

<https://inquiry-fec-form.spiral-site.com/copper>

表1 無酸素銅の特性
Properties of different oxygen-free coppers.

	導電率 (%IACS)	熱伝導率 (W/m・K)	引張強さ (MPa)	耐熱温度 (℃)	ヤング率 (GPa)	製品板厚 (mm)	特長
TOFC	101	391	180～240	500	85～100	0.25～2.0	高耐熱性・低ヤング率
GOFC	101	391	200～300	200～300	100	0.25～2.0	結晶粒成長抑制
C1020	101	391	220～315	200～300	120	—	—