

超低 I_R ショットキーバリアダイオード

Ultra-low I_R Schottky barrier diode

北村 祥司 Shoji Kitamura

一ノ瀬 正樹 Masaki Ichinose

中沢 将剛 Masayoshi Nakazawa

スイッチング電源の小型・低損失・高効率・高温動作の要求に対し、高耐圧ショットキーバリアダイオード（SBD）のバリアメタルの種類とその形成方法を改善した。現行品に対し V_F の増加を抑えつつ、 I_R を 1/10 以下とした 100 V、120 V、150 V、200 V 耐圧の超低 I_R -SBD シリーズを開発した。SBD の弱点である高温動作時の逆損失増大による熱暴走のリスクを軽減した。接合部温度 175℃ 保証により高温環境化での安定動作を実現し、ヒートシンクの小型化による電源の小型・高密度実装化に貢献できる。

In response to requests for switching power supplies that are smaller in size, have lower loss and higher efficiency and support high temperature operation, we improved the types of barrier metals and the fabrication methods available for high-voltage Schottky barrier diodes (SBD). We developed a 100 V, 120 V, 150 V and 200 V series of ultra-low I_R SBDs that achieve an I_R of less than 1/10th that of conventional SBDs while preventing an increase in V_F . The risk of thermal runaway due to increased reverse loss during high temperature operation is a weakness of SBDs, but this risk has been mitigated. Guaranteed operation at junction temperatures of up to 175°C enables stable operation to be achieved in high temperature environments, and miniaturization of the heatsink enables smaller size and higher density packaging to be realized.

1 まえがき

近年、地球環境保護意識の高まりを背景に、省エネルギーの動きが高まっている。一方、パソコンやフラットパネルディスプレイ、太陽光発電、IDC（Internet Data Center）関連分野〔サーバ、無停電電源装置（UPS）〕、通信基地局電源、自動車、鉄道などで使用する電子機器は高機能・多機能化が急速に進み、高出力化の流れにある。これら電子機器で使用するスイッチング電源には、電流量が増加する中、高効率化規制・高密度実装化・小型化に伴い、損失低減・動作温度限界向上の要求がある。電力変換の高効率化のために低損失半導体デバイスの開発は、キーテクノロジーである。これまで富士電機では、各種電源要求に合わせた整流ダイオードとして、低損失高速ダイオード（LLD）⁽¹⁾ やショットキーバリアダイオード（SBD）^{(2), (3)} などの製品化・系列化を行ってきた。

一般的に二次側スイッチング電源の整流デバイスには、SBD が広く使用されているが、高効率化に伴い、低 V_F （順電圧）、低 I_R （逆電流）が求められる。電源の動向としては、ファンレス化・密閉化が進み、電子機器の冷却

能力が不足する傾向にある。集積度向上・電子機器の実装密度の増大により、熱設計の改善が電子機器だけでなく部品単体にも求められるようになってきた。このような動向から、部品や基板の放熱性能の向上、部品自体の発熱抑制、高温環境下での安定動作が求められている⁽⁴⁾。

富士電機では、この高効率・高温動作要求に合わせ 100 V、120 V、150 V、200 V 耐圧の超低 I_R -SBD シリーズ（図 1）を開発したので紹介する。

2 特徴

これまで富士電機では、20～100 V 耐圧の SBD（低 V_F タイプ）、45～150 V 耐圧の SBD（低 I_R タイプ）の開発系列化を推進してきた。SBD は、低 V_F 、ソフトリカバリー性、低ノイズなどの特徴があり、スイッチング電源の二次側整流用途に広く使用されている。pn ダイオードに

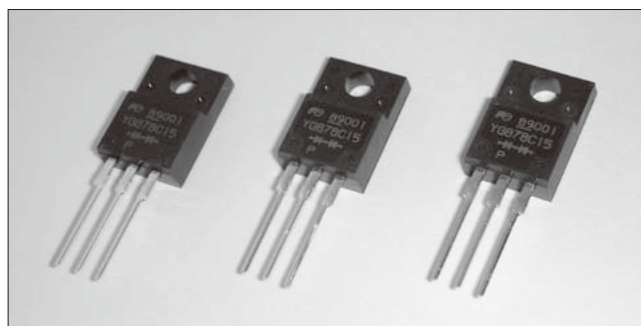
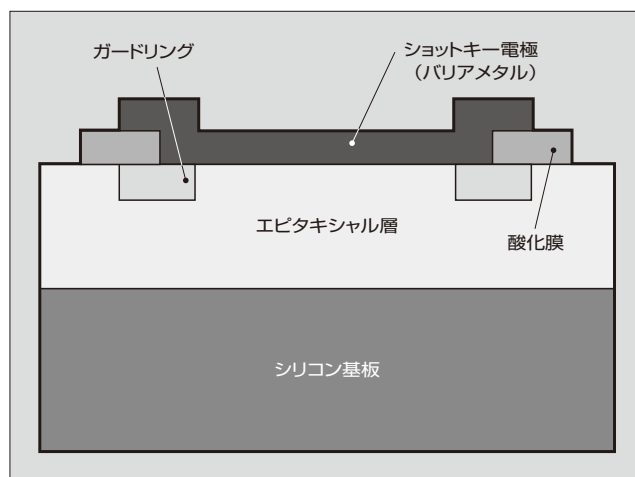
図 1 超低 I_R -SBD シリーズの外観

図 2 SBD チップの断面構造



比べ、一般的に I_R が高いため、AC アダプタのような密閉機器・大電流高密度実装機器などの近年の高温動作化が求められる機器において、熱暴走を起こす可能性があり、さらなる低 I_R 化が必要となるが、低 I_R 化すると V_F が増加する課題があった⁽⁵⁾。

図2にSBDの基本構造を示す。今回開発した超低 I_R -SBDの設計では、耐圧構造にガードリング方式を採用し、SBDバリアメタルの種類とその形成方法を改善した。これにより、現行の低 I_R シリーズに対し V_F の増加を抑えつつ、 I_R を1/10以下とし、電源の小型・高効率・高温動作などの市場ニーズに対応した。

主な特徴は次のとおりである。

- (a) SBDの弱点である高温動作時の逆損失増大による

熱暴走のリスクを軽減し、高温での高信頼性を実現

- (b) 接合部温度 $T_j = 175^\circ\text{C}$ 保証を実現、高温側の動作限界温度をさらに向上

- (c) ヒートシンクの小型化による電源の小型・高密度実装化に貢献

- (d) V_F は富士電機の従来品水準

- (e) 200V耐圧を系列化

③ 素子特性

超低 I_R -SBDと従来品との逆方向特性比較を図3に、順方向特性比較を図4に示す。SBDの損失は、順方向と逆方向の損失の合計であり、この損失を減らすことが課題で

図3 超低 I_R -SBDと従来品との逆方向特性比較

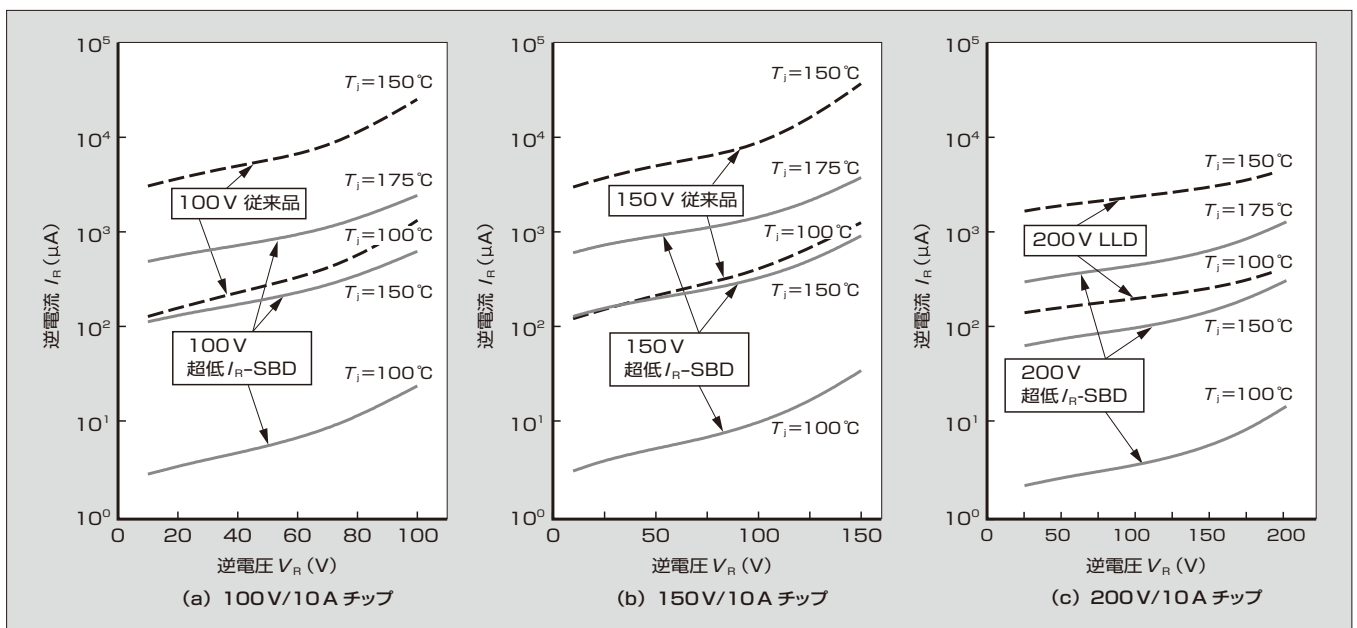
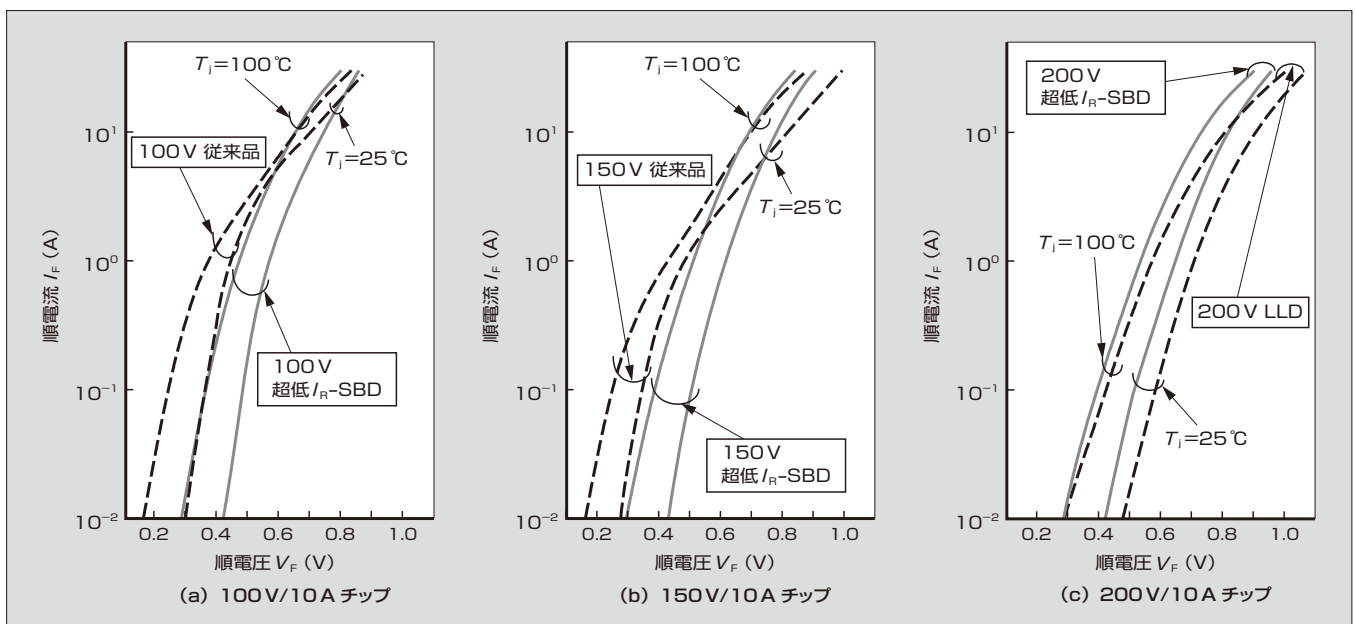


図4 超低 I_R -SBDと従来品との順方向特性比較



ある。特に高温時には I_R 増加による逆損失増大を考慮に入れなければならない。今回開発した超低 I_R -SBD においては、図 2 章で述べたように、新規バリアメタル採用とその形成プロセスの最適化により、 I_R は全動作温度範囲において従来品の 1/10 以下にまで低減させ、高温時の損失を大幅に低減できた。100 ~ 150 V 品の V_F は定格電流域で全動作温度範囲において従来品と同等の水準、200 V 品の V_F は同定格の LLD より低 V_F (全動作温度範囲において、定格電流にて LLD より約 10% 低減) を達成した。

4 発生損失検討

図 5 と図 6 に汎用電源に実装したときのケース温度上昇と電源効率を示す。実装電源は 75 W (24 V/3.2 A) 出力のもので、スイッチング周波数は 125 kHz である。標準搭載された 200 V 耐圧の LLD と 150 V の超低 I_R -SBD との比較を行った。超低 I_R 150 V 品は 200 V LLD に対し、ケース温度は 15.6℃ 低減、効率は 0.24 ポイント向上した。また、ターンオフ時の跳ね上がり電圧は、200 V LLD の 129 V に対し、150 V 超低 I_R -SBD でも同等の 127 V であった。これは、SBD 特有のソフトリカバリー性により跳ね上がり電圧を低く抑えられたためで、耐圧レベルを 1 ランク下げることが可能となる。1 ランク耐圧の低いデバイスを使用することで V_F も低下できた。さらに超低 I_R -SBD

の I_R は LLD より小さいため、順逆共に低損失となり、高効率が達成できた。

図 7、図 8 に損失シミュレーション検討の一例を示す。モデルは、液晶テレビ 24 V/5 A 出力電源である。従来の低 I_R 品、および LLD は高温領域で損失が増大するのに対し、超低 I_R 品は高温領域での逆損失が低く温度上昇とともに損失は低減するため、高温環境下でも安心して使用できる。

図 7 損失シミュレーション (150 V 耐圧品)

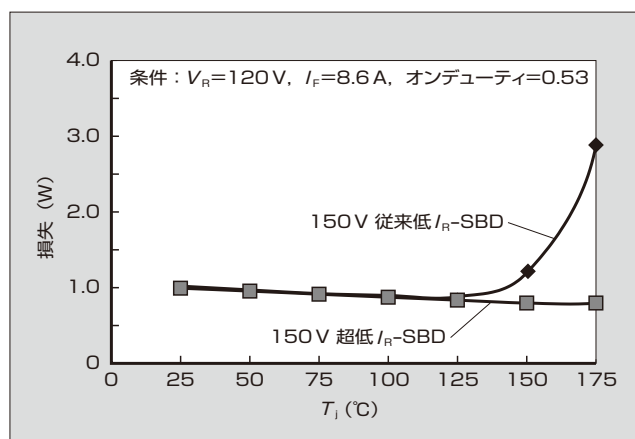


図 8 損失シミュレーション (200 V 耐圧品)

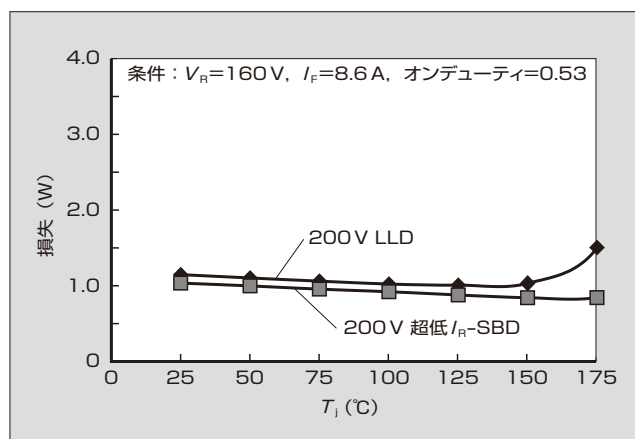


図 5 電源実装評価時のケース温度上昇 (実測値)

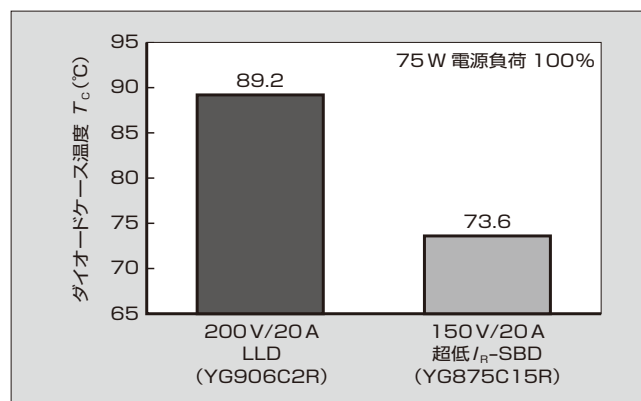


図 6 電源実装評価時の電源効率 (実測値)

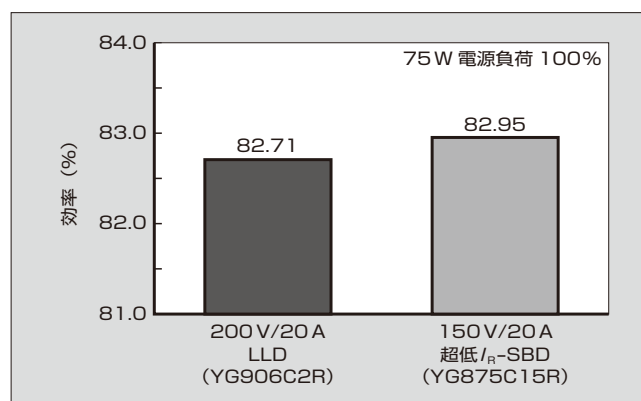


図 9 高温印加信頼性試験評価結果

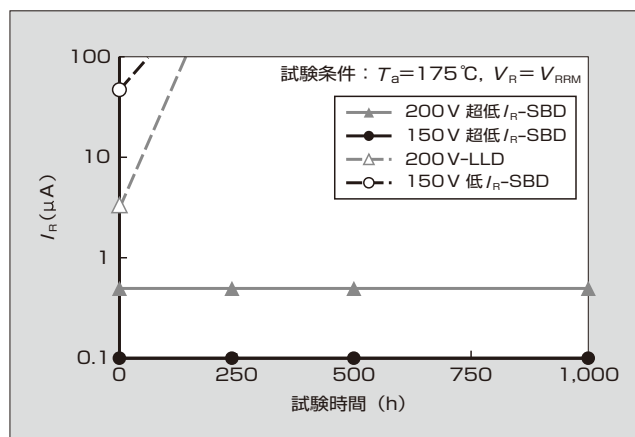


表1 超低 I_R -SBD の絶対最大定格と電気的特性一覧

型 式	定 格	パッケージ	最大定格			電気的特性		
			V_{RRM} (V)	I_o (A)	I_{FSM} (A)	V_{FM} (V) $I_F=0.5 \times I_o$ ($T_j=25^\circ\text{C}$)	I_{RRM} (μA) $V_R=V_{RRM}$	$R_{th(j-c)}$ (K/W)
YG872C10R	100V/10A	TO-220F	100	10 ($T_c=146^\circ\text{C}$)	125	0.82	15	3.5
YG875C10R	100V/20A	TO-220F		20 ($T_c=131^\circ\text{C}$)	145	0.86	20	2.5
YG878C10R	100V/30A	TO-220F		30 ($T_c=122^\circ\text{C}$)	160	0.86	30	2
YG872C12R	120V/10A	TO-220F	120	10 ($T_c=143^\circ\text{C}$)	125	0.84	15	3.5
YG875C12R	120V/20A	TO-220F		20 ($T_c=127^\circ\text{C}$)	145	0.88	20	2.5
YG878C12R	120V/30A	TO-220F		30 ($T_c=116^\circ\text{C}$)	160	0.88	30	2
YG872C15R	150V/10A	TO-220F	150	10 ($T_c=144^\circ\text{C}$)	125	0.86	15	3.5
YG875C15R	150V/20A	TO-220F		20 ($T_c=130^\circ\text{C}$)	145	0.89	20	2.5
YG878C15R	150V/30A	TO-220F		30 ($T_c=120^\circ\text{C}$)	160	0.89	30	2
YG872C20R	200V/10A	TO-220F	200	10 ($T_c=143^\circ\text{C}$)	125	0.89	15	3.5
YG875C20R	200V/20A	TO-220F		20 ($T_c=127^\circ\text{C}$)	145	0.93	20	2.5
YG878C20R	200V/30A	TO-220F		30 ($T_c=116^\circ\text{C}$)	160	0.93	30	2
YA872C10R	100V/10A	TO-220	100	10 ($T_c=158^\circ\text{C}$)	125	0.82	15	2
YA875C10R	100V/20A	TO-220		20 ($T_c=144^\circ\text{C}$)	145	0.86	20	1.75
YA878C10R	100V/30A	TO-220		30 ($T_c=142^\circ\text{C}$)	160	0.86	30	1.25
YA872C12R	120V/10A	TO-220	120	10 ($T_c=158^\circ\text{C}$)	125	0.84	15	2
YA875C12R	120V/20A	TO-220		20 ($T_c=144^\circ\text{C}$)	145	0.88	20	1.75
YA878C12R	120V/30A	TO-220		30 ($T_c=141^\circ\text{C}$)	160	0.88	30	1.25
YA872C15R	150V/10A	TO-220	150	10 ($T_c=157^\circ\text{C}$)	125	0.86	15	2
YA875C15R	150V/20A	TO-220		20 ($T_c=143^\circ\text{C}$)	145	0.89	20	1.75
YA878C15R	150V/30A	TO-220		30 ($T_c=140^\circ\text{C}$)	160	0.89	30	1.25
YA872C20R	200V/10A	TO-220	200	10 ($T_c=157^\circ\text{C}$)	125	0.89	15	2
YA875C20R	200V/20A	TO-220		20 ($T_c=141^\circ\text{C}$)	145	0.93	20	1.75
YA878C20R	200V/30A	TO-220		30 ($T_c=138^\circ\text{C}$)	160	0.93	30	1.25

5 高温保証

図9に信頼性評価結果の一例を示す。周囲温度 175°C にて定格電圧でDC印加した信頼性結果である。従来の低 I_R 品およびLLDでは、印加直後に熱暴走破壊（ショート）に至ったのに対し、超低 I_R -SBDは1,000時間まで I_R の変動はなく、高温環境化での高信頼性を実現、接合部温度 175°C 保証を達成している。以上、超低 I_R -SBDの概要を紹介した。本開発品の絶対最大定格と電気的特性一覧を表1に示す。

6 あとがき

本製品は、パソコンやフラットパネルディスプレイなどの民生分野はもとより、動作限界温度が高いため高温環境での高信頼性が要求される太陽光発電パネルのバイパスダイオード用途や、低損失性・小型化・高温使用のメリットが大きいと考えられるIDC関連分野（サーバ、UPSなど）、通信基地局電源、自動車、鉄道など、幅広い分野での普及が期待できる。

富士電機は、今後さらなる耐圧系列の拡充（40～80V）やパッケージ系列の拡充と特性改善を図り、省エネルギー・地球環境保護に貢献していく所存である。

参考文献

- (1) 森本哲弘ほか. 600V低損失高速ダイオード「SuperLLD3シリーズ」. 富士時報. 2007, vol.80, no.6, p.428-431.
- (2) 北村祥司ほか. 高耐圧ショットキーバリアダイオード. 富士時報. 2002, vol.75, no.10, p.589-592.
- (3) 一ノ瀬正樹ほか. 電源二次側整流器用ダイオード「低 I_R -SBDシリーズ」. 富士時報. 2004, vol.77, no.5, p.334-337.
- (4) 国峰尚樹. 熱設計を無理なく進めるための機器開発体系と最新技術動向. NEアカデミー.
<http://techon.nikkeibp.co.jp/NE/academy/090213.html>.
- (5) 滝沢勝. ACアダプタなどの高温環境下における特性や高耐圧ニーズに対応した150V超低 I_R -SBDの高耐圧・超低 I_R 化による高効率化. 電子技術. 2003, vol.45, no.5, p.102-104.

**北村 祥司**

パワーダイオードの開発・設計に従事。現在、富士電機システムズ株式会社半導体事業本部半導体統括部デバイス技術部。

**中沢 将剛**

パワーダイオードの開発・設計に従事。現在、富士電機システムズ株式会社半導体事業本部半導体統括部デバイス技術部。

**一ノ瀬 正樹**

パワーダイオードの開発・設計に従事。現在、富士電機システムズ株式会社半導体事業本部半導体統括部デバイス技術部。





＊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。