

600V 低損失高速ダイオード「SuperLLD3 シリーズ」

特集

森本 哲弘 (もりもと てつひろ)

渡島 豪人 (わたしま たけと)

一ノ瀬 正樹 (いちのせ まさき)

1 まえがき

現在、地球温暖化・環境破壊などの社会問題が多岐にわたり、省資源化も盛んに叫ばれている。電子機器では低消費電力化・高効率化・回路の簡素化による小型化、部品点数の削減が重要視されている。これに伴い、電子機器に搭載されるスイッチング電源も低消費電力化・高効率化・高周波化・低ノイズ化が進められてきている。

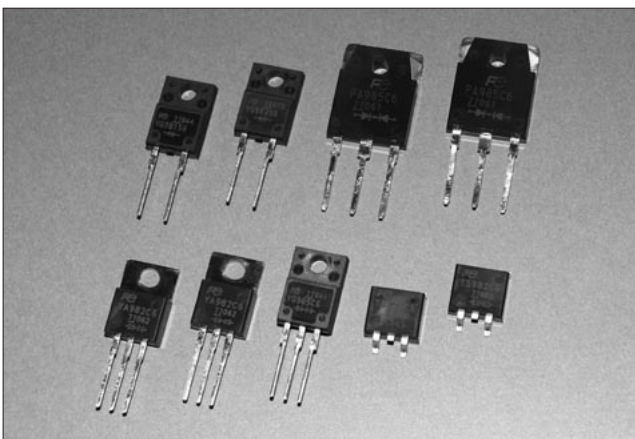
富士電機では、各種電源用途に合わせた整流ダイオードとして、低損失高速ダイオード (LLD) やショットキーバリヤダイオード (SBD) など各種ダイオードの製品化・系列化を行ってきた。

本稿では、主にスイッチング電源の力率改善回路用途に新たに開発した 600V 低損失高速ダイオード「SuperLLD3 シリーズ」について概要を紹介する (図 1)。

2 SuperLLD3 の適用用途と要求

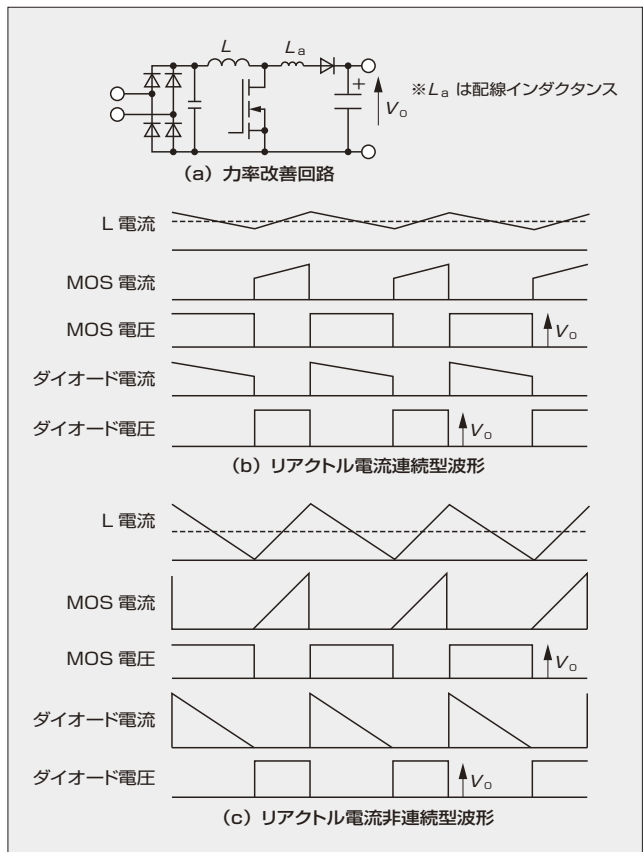
商用電源を使用している電子機器では入力整流部に AC-DC 変換の整流回路が多く用いられる。これが電流のひずみ波形を発生させ、高調波電流の発生源となり、電

図 1 600V 低損失高速ダイオード SuperLLD3 シリーズの外観



子機器の誤動作・寿命低下、電力供給の力率低下などの問題を引き起こしている。これに対し各国では法的規制により、高調波の抑制が義務づけられているので力率改善回路を付加することで対応している。先にも述べたように電源の高効率化がますます強くなる傾向にあるため、力率改善回路もシステム全体で高効率・低損失化が必要不可欠となっている。力率改善回路は図 2 に示すような回路構成となっており、その制御方式はリアクトル電流を不連続とする方式 (電流非連続方式) と連続とする方式 (電流連続方式) がある。この中で、電流連続方式は主に高出力の電源に用いられる。この方式はダイオードの順方向通電時

図 2 力率改善回路と動作波形



森本 哲弘

パワーダイオードの開発・設計に従事。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情報・電源事業部技術部。



渡島 豪人

パワーダイオードの開発・設計に従事。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情報・電源事業部技術部マネージャー。



一ノ瀬 正樹

パワーダイオードの開発・設計に従事。現在、富士電機デバイステクノロジー株式会社半導体事業本部情報・電源事業部技術部。

に MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor) がオンするため、ダイオードの順電流が強制的に逆バイアスされることになり、ダイオードの逆回復現象に伴うスイッチング損失の抑制という課題を考慮しなければならない。

また、電源の高出力・小型化に対してはダイオードの順方向損失の抑制も合わせて考慮しなければならない。したがって、ダイオードは逆回復時間 (t_{rr}) の低減のみならず、順電圧 (V_F) の低減も重要となる。そこで、従来の高速化 (短 t_{rr}) に特化した「SuperLLD1 シリーズ」の高速化と同時に、低 V_F 化も考慮した LLD が必要となる。

図 3 に電流連続方式の力率改善回路のダイオードと MOSFET の損失分析結果の一例を示す。MOSFET の損失が占める割合が全体の 2/3 強と非常に大きく、その損失の中で約半分を占めるターンオン損失にはダイオードの逆回復特性が大きな影響を与えている。そこで、MOSFET のターンオン損失低減のためにもダイオードとしては、従来の SuperLLD1 以上の高速化と低 V_F 化を達成する必要がある。今回、SuperLLD1 比 25% の t_{rr} 低減と 20% の V_F 低減を実現した SuperLLD3 を開発した。

③ SuperLLD3 の特徴と実施例

今回開発した SuperLLD3 と従来品の SuperLLD1, 2 の

図 3 電流連続方式の力率改善回路のパワー素子損失シミュレーション

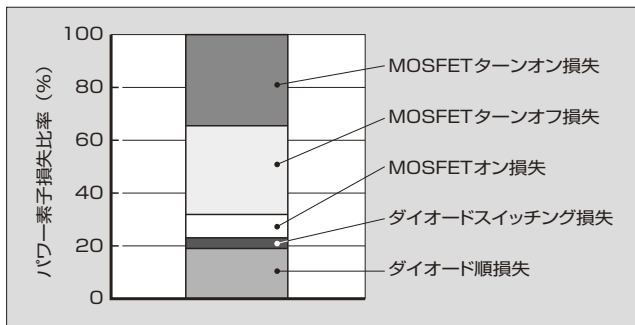
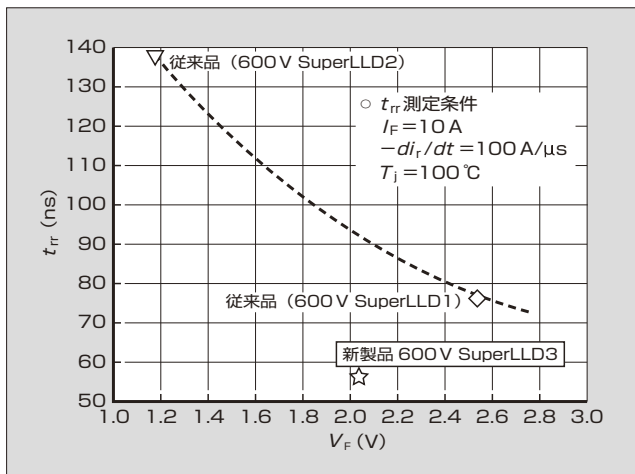


図 4 V_F - t_{rr} トレードオフ相関



V_F と t_{rr} のトレードオフ相関を 10 A 品について比較した結果を図 4 に示す。SuperLLD3 は SuperLLD1, 2 の V_F と t_{rr} のトレードオフラインに対し、格段に改善している。 t_{rr} は SuperLLD1 に対して約 25% 抑えられており、高周波動作でのスイッチング損失の低減に有効である。

次に t_{rr} の温度依存性を図 5 に示す。SuperLLD3 は SuperLLD1 に比べ t_{rr} の温度変化率が小さいため、高温の実動作を考慮した場合、スイッチング損失の温度依存性は小さくなるを考える。

図 6 に SuperLLD3 と SuperLLD1 の順方向特性を比較した結果を示す。SuperLLD3 の順方向特性は SuperLLD1 より高温時 (100 °C) で約 20% 低減しており、順方向損失の低減が可能である。表 1 に SuperLLD3 と SuperLLD1 の特性比較結果を示す。次に高速化かつ低 V_F 化を図った SuperLLD3 の効果を確認するために実際の電流連

図 5 t_{rr} の温度依存性

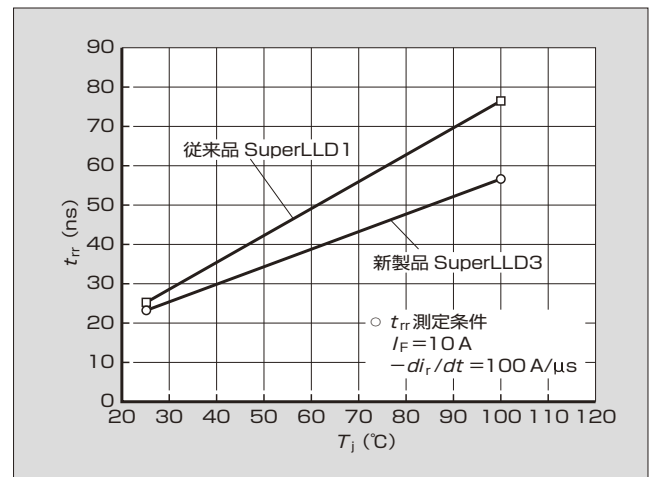
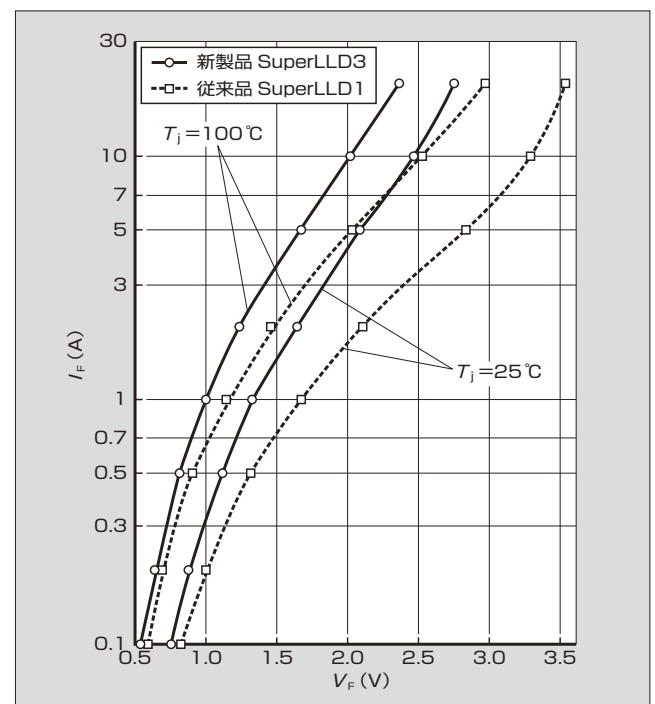


図 6 600V 10A LLD 順方向特性比較



続方式の力率改善回路で評価を実施した。実装電源は 390 W (390 V/1 A) 出力のもので、スイッチング周波数は 65 kHz である。

ダイオードと MOSFET の電流・電圧の代表波形を図 7 に示す。表 2 に SuperLLD3 と SuperLLD1 をそれぞれ実装したときのダイオードと MOSFET の温度上昇・電源効率の測定結果を示す。ダイオードと MOSFET は分離したヒートシンクで実装評価を行っている。ダイオードの温度上昇は V_F を大幅に低減させたこと、 t_{rr} を高速化したことにより、SuperLLD1 に対し約 11℃ 低くなっている。ま

特集

表 1 SuperLLD3とSuperLLD1の特性比較 (実測値)

項目	条件		新製品 SuperLLD3	従来品 SuperLLD1	単位
V_F	25℃	$I_F = 10A$	2.5	3.3	V
	100℃		2.0	2.5	V
t_{rr}	25℃	$I_F = 10A$	23	25	ns
	100℃		57	77	ns
I_{RP}	25℃	$-di_r/dt = 100A/\mu s$	1.2	1.2	A
	100℃		1.75	1.74	A

図 7 電源実装時の印加波形

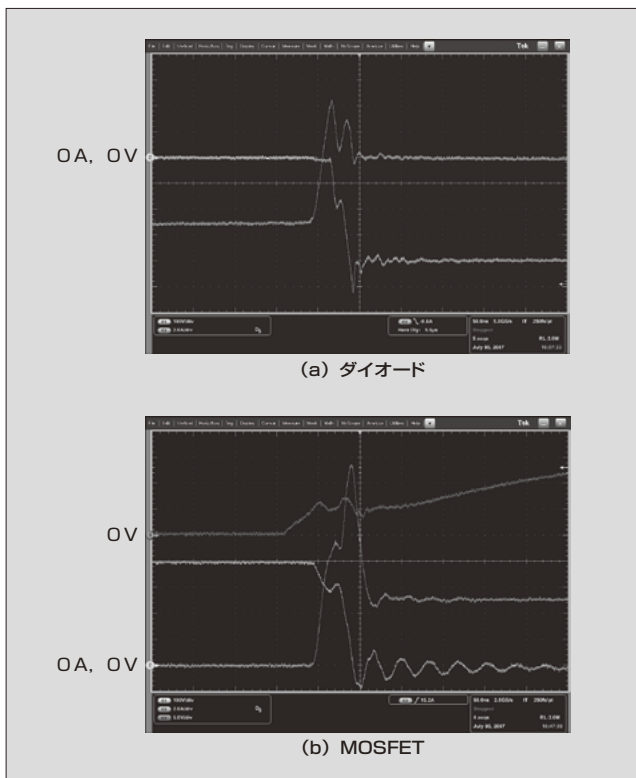


表 2 SuperLLD3とSuperLLD1の温度上昇と効率

項目		新製品 SuperLLD3	従来品 SuperLLD1	単位
効 率		88.16	87.17	%
ケースの 温度上昇	ダイオード	35.7	46.8	℃
	MOSFET	50.4	52.9	℃

条件：390W (390V, 1.0A出力) , 65kHz

た、MOSFET は損失の約 1/3 を占めるターンオン損失に影響するドレイン電流が SuperLLD3 の適用により低減され、温度上昇も抑えられている。SuperLLD3 の適用でダイオードと MOSFET のトータルの温度上昇が低減でき、電源効率も約 1% 改善されている。

4 SuperLLD3 の設計施策

プレーナ型ダイオードの基本構造を図 8 に示す。LLD は高速化を図るためにライフタイムキラー拡散プロセスを適用している。

今回、LLD の設計検討の例として、図 9 に 3 種類の p^+ 層の濃度 ($A < B < C$) およびライフタイムキラー拡散

図 8 LLD のチップ断面構造

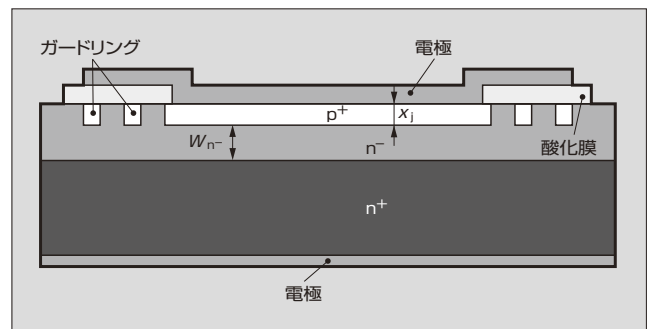


図 9 V_F-t_{rr} トレードオフ相関

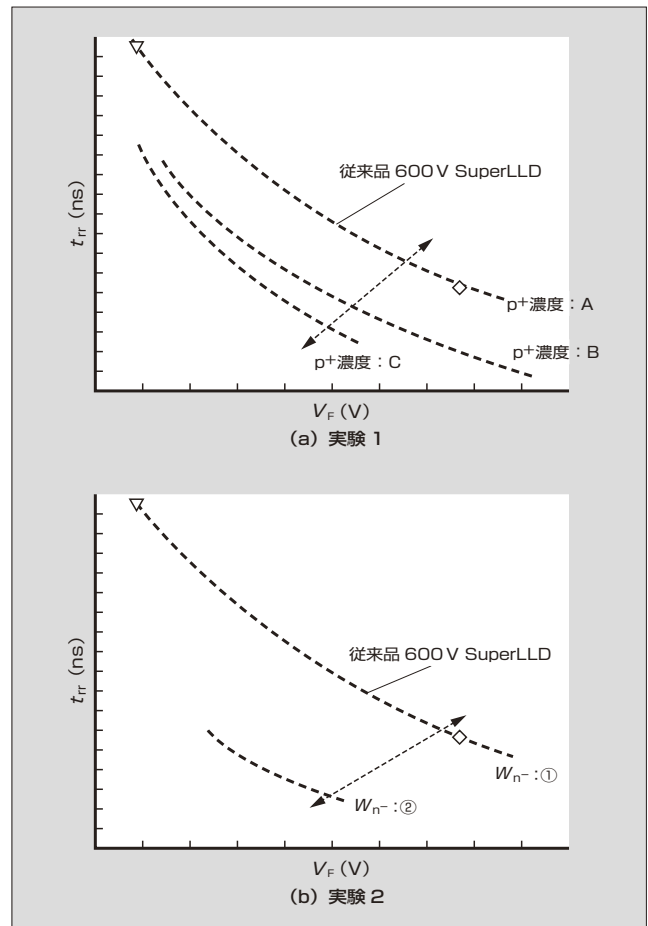
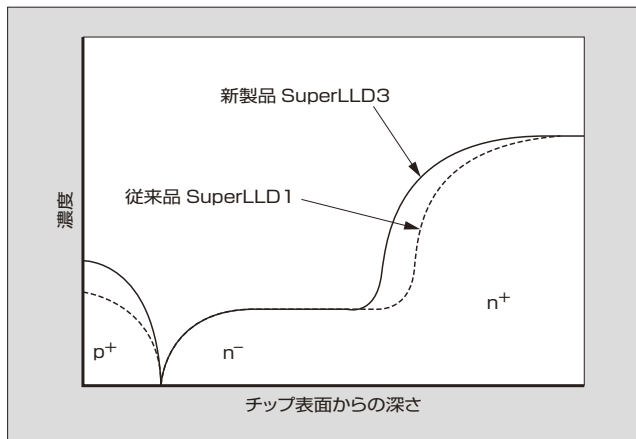


表3 600V SuperLLD3の絶対最大定格と電気的特性一覧

型 式	パッケージ	チップ構成	絶対最大定格			電気的特性				
			V_{RRM} (V)	I_a (max) (A)	I_{FSM} (A)	V_{FM} (V) ($T_j=25^\circ\text{C}$)	I_{RRM} (μA) $V_R=V_{RRM}$	t_{rr} (ns) $I_F=0.1\text{A}, I_R=0.2\text{A}, I_{rec}=0.05\text{A}$	$R_{th(j-c)}$ ($^\circ\text{C/W}$)	
YA981S6R	TO-220AB	シングル	600	8	40	3.0	$I_F=8\text{A}$	25	26	2.50
YG981S6R	TO-220F	シングル	600	8	40	3.0	$I_F=8\text{A}$	25	26	4.50
TS982C6R	T-pack (S)	ツイン	600	16	40	3.0	$I_F=8\text{A}$	25	26	1.50
YA982C6R	TO-220AB	ツイン	600	16	40	3.0	$I_F=8\text{A}$	25	26	1.50
YG982C6R	TO-220F	ツイン	600	16	40	3.0	$I_F=8\text{A}$	25	26	2.00
YA982S6R	TO-220AB	シングル	600	10	50	3.0	$I_F=10\text{A}$	30	28	2.00
YG982S6R	TO-220F	シングル	600	10	50	3.0	$I_F=10\text{A}$	30	28	3.50
TS985C6R	T-pack (S)	ツイン	600	20	50	3.0	$I_F=10\text{A}$	30	28	1.25
YA985C6R	TO-220AB	ツイン	600	20	50	3.0	$I_F=10\text{A}$	30	28	1.25
YG985C6R	TO-220F	ツイン	600	20	50	3.0	$I_F=10\text{A}$	30	28	1.75
PA985C6R	TO-3P	ツイン	600	20	50	3.0	$I_F=10\text{A}$	30	28	1.50

図10 断面濃度構造



濃度を変化させたときの100℃での V_F と t_{rr} の相関を示す。また、同様に2種類の n^- 層厚さ(W_{n^-}) (①>②)およびライフタイムキラー拡散濃度を変化させたときの100℃での V_F と t_{rr} の相関を示す。図10から、 p^+ 層の濃度を高くすること、 n^- 層の厚さを薄くすることで t_{rr} の高速化と低 V_F 化が可能であることが分かる。このような検討を基に、 p^+ 層の濃度と拡散深さ、ライフタイムキラーの拡散濃度、 n^- 層の最適化を図り、図10に示すように従来のLLDに対して高濃度低拡散プロファイル設計にてSuperLLD3の製品化を達成している。

⑤ SuperLLD3の系列

表3に、SuperLLD3の絶対最大定格と電気的特性一覧を示す。電流定格は8～20A、製品外形はTO-220AB、TO-3P、フルモールドタイプのTO-220F、表面実装タイプのT-pack (S)である。

⑥ あとがき

富士電機が新規に開発した「SuperLLD3シリーズ」について概要を紹介した。これらは、電流連続方式の率改善回路への適用に十分な性能を有し、そのほかに高耐圧で高速、低 V_F 特性が必要な高出力電源の二次側整流用途にも有効と考える。今後、さらに電源の高出力化と高周波駆動による小型化が進むことが予想され、適用されるダイオードにはさらに低損失化や低ノイズ化が求められる。富士電機では、今後もLLDをはじめとし、SBDなどを含め高速ダイオードの特性・品質の向上と、製品系列の拡充を図り、より市場に有効な製品を提供していく所存である。

参考文献

- (1) 関康和ほか、最近のIGBTと周辺ダイオード、'96スイッチング電源シンポジウム、1996. B3-2-1～B3-2-12.
- (2) 北村祥司、松井俊之、600VスーパーLLD、富士時報、vol.74, no.2, 2001, p.141-144.
- (3) 森本哲弘、ソフトリカバリーLLD、富士時報、vol.79, no.5, 2006, p.382-385.