

低ノイズFRD FMXR-1206Sの開発

Development of FMXR-1206S Low Noise FRD Device

南野 洋平*
Yohei Minamino

概要 白物家電の電源部に搭載されているPFC回路での高周波整流において、既存のFRDではリカバリ時のピーク電流が大きく、リングングが発生しノイズによる誤動作などの悪影響が懸念されるといった課題がある。これらの課題を解決できるデバイスとしてSiCが挙げられるが、Siデバイスとの価格差はまだ大きく、現在の市場ではSiデバイスの使用が主流である。

Siデバイスにてこれらの課題を解決するために、素子構造に低濃度アノードおよび粒子線照射によるキラを用いることで、リカバリ時のピーク電流を小さくすると共に、リングングの発生も抑制できた。今回、高周波整流用途としてスイッチング特性に優れた低ノイズFRD、XRシリーズを開発した。

1. まえがき

今後も新興国を中心に市場拡大が予想される白物家電の電源部には、図1に示すような力率改善(PFC: Power Factor Correction)回路が搭載されている。

この回路の高周波(100kHz~)整流においては、高速整流ダイオード(FRD: Fast Recovery Diode)としてLシリーズ(~50ns)やXシリーズ(~30ns)をラインアップとして保有しているが、どちらもリカバリ時のピーク電流値が大きいためスイッチング時の損失が大きくなってしまふ。

また、その電流値が流れることでリングングが発生してしまい、ノイズによる誤動作などの悪影響が懸念されるという課題がある。

これらの課題を解決できるスイッチング特性の優れたデバイスとしてSiCが挙げられ、近年では汎用量産機への採用も始まっている。しかしながら、SiCはコストが高いというデメリットがありSiデバイスとの価格差はまだ大きく、現在の市場ではSiデバイスの使用が主流である。

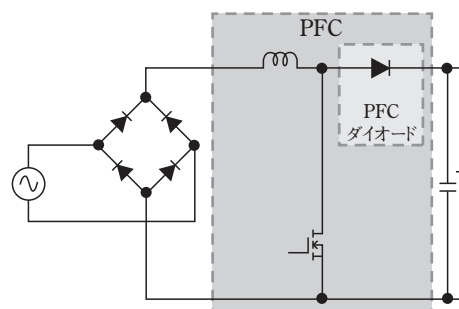


図1 エアコンPFC回路例
Circuit example of air conditioner PFC

今回、Siデバイスにてスイッチング時の損失とリングングを抑制し、スイッチング特性に優れた低ノイズFRDであるXRシリーズを開発したので紹介する。

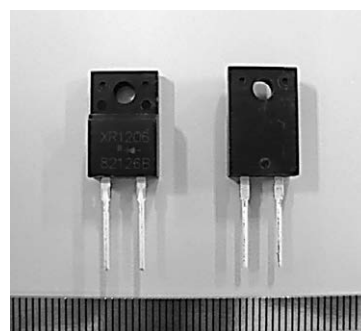


写真1 FMXR-1206Sの外観
External View of FMXR-1206S

*デバイス事業本部 技術本部 DIS事業部 開発2課

2. 素子構造

図2に今回開発したXRシリーズの素子構造を示す。

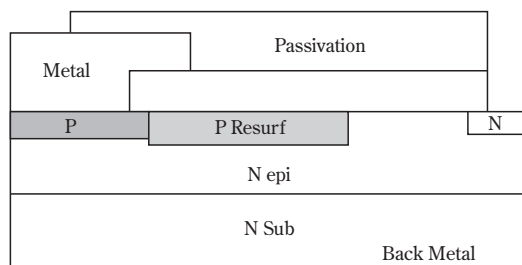


図2 終端構造模式図
Schematic diagram of terminal structure

2.1 活性部構造

アノード部は通常よりも低濃度とすることでキャリアの注入量を抑制している。加えて、FRDの特性を決める重要な要素であるキラーとして粒子線を使用しており、従来の重金属拡散に比べ I_R を抑制している。その結果、図3に示すようにXシリーズに対し t_{rr} 特性を維持したまま I_R 特性を改善している。

また、粒子線の照射量を多くすることでキャリアの消滅が早くなり、スイッチング時のリカバリ電流値を小さくすることでリングングの発生も抑制している。

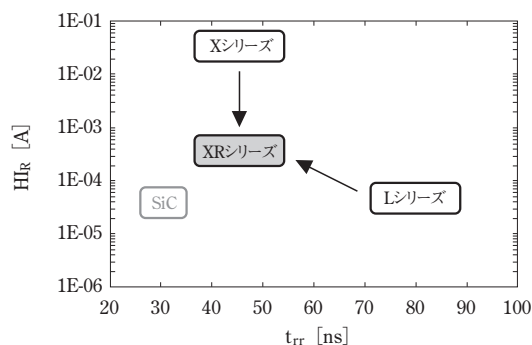


図3 I_{Rr} - t_{rr} 代表特性
 I_{Rr} - t_{rr} typical characteristic values

2.2 外周部構造

外周部の構造はリサーフ構造を採用している。

リサーフ構造を用いることで従来のFLR (Field Limiting Ring) 構造に比べ、短い外周距離で電解緩和が可能となりチップサイズを縮小できる。

3. 製品概要

3.1 製品仕様

FMXR-1206Sの絶対最大定格を表1に、電気的特性を表2に示す。

表1 絶対最大定格
Absolute maximum ratings

項目	記号	単位	規格値	条件
ピーク非繰返し逆電圧	V_{RSM}	V	600	—
ピーク繰返し逆電圧	V_{RM}	V	600	—
平均順電流	$I_{F(AV)}$	A	20	減定格
サージ順電流	I_{FSM}	A	100	10ms 正弦半波
I^2t 限界値	I^2t	A ² s	50	1~10ms
接合部温度	T_j	°C	-40~+150	—
保存温度	T_{sig}	°C	-40~+150	—

表2 電気的特性
Electrical characteristics

項目	記号	単位	規格値	条件
順方向降下電圧	V_F	V	2.5 max.	$I_F=20A$
逆方向漏れ電流	I_R	μA	10 max.	$V_R=V_{RM}$
高温逆方向漏れ電流	$H \cdot I_R$	mA	1 max.	$V_R=V_{RM}$ $T_j=150^\circ C$
逆方向回復時間	t_{rr}	ns	60 max.	$I_F=20A$ $di/dt=200A/\mu s$ $V_R=400V$ 100%回復点
逆方向回復電荷	Q_{rr}	nC	145 max.	
熱抵抗	$R_{th(j-c)}$	°C/W	2.8 max.	接合部—フレーム間
	$R_{th(j-l)}$	°C/W	3.2 max.	接合部—リード間

3.2 スwitching特性

図4にXRシリーズのスイッチング波形、図5に従来品であるLシリーズのスイッチング波形を示す。

図5に示すように、Lシリーズはリカバリ時のピーク電流が大きくスイッチング損失(Q_{rr})が大きい。また、戻りの電流傾きも急峻になっており、リングングの発生が見られる。一方、図4に示すように、XRシリーズはピーク電流が小さく、リングングの発生も抑制されており、良好なスイッチング特性が得られている。

また、図6に示すように、XRシリーズは Q_{rr} の温度依存性も小さくなっている。Lシリーズに比べ実働温度を想定した100℃において Q_{rr} が50%程度低減しており、よりSiCに近い優れたスイッチング特性が得られている。

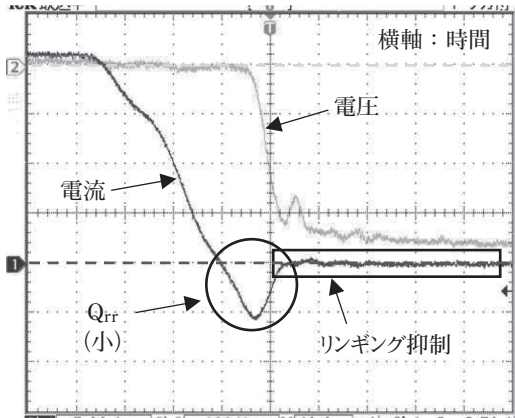


図4 XRシリーズスイッチング特性
XR series switching characteristics

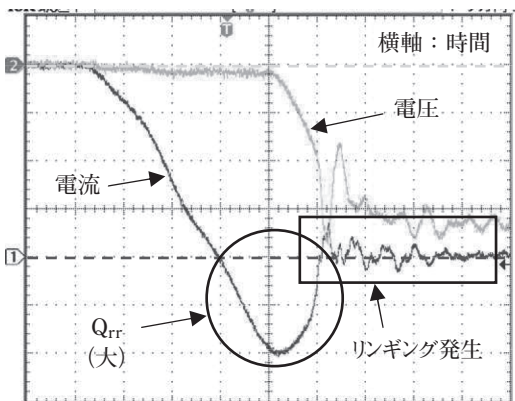


図5 Lシリーズスイッチング特性
L series switching characteristics

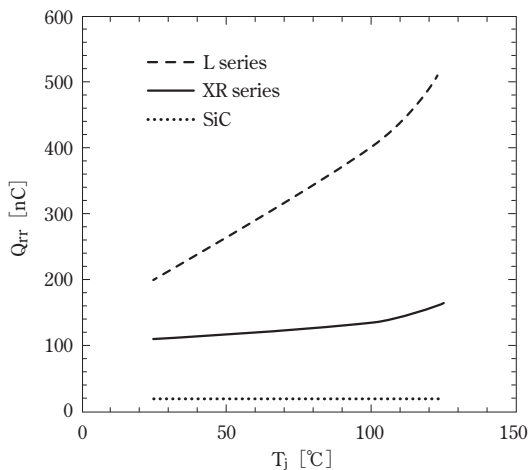


図6 Q_{rr} - T_j 代表特性
 Q_{rr} - T_j typical characteristic values

3.3 逆方向特性

図7にXRシリーズと従来品であるXシリーズの逆方向の代表温度特性を示す。

Xシリーズの定格電流600Vにおける I_R は25℃で10 μ A程度、150℃で10mA程度であるのに対し、XRシリーズは25℃で0.1 μ A程度、150℃で0.4mA程度となっており1~2桁小さく、不純物拡散手法の違いによるIRの低減効果が得られていることが確認できた。

これにより、実機動作時の逆方向漏れ電流による損失に対する懸念は低減され、熱設計も容易になる。

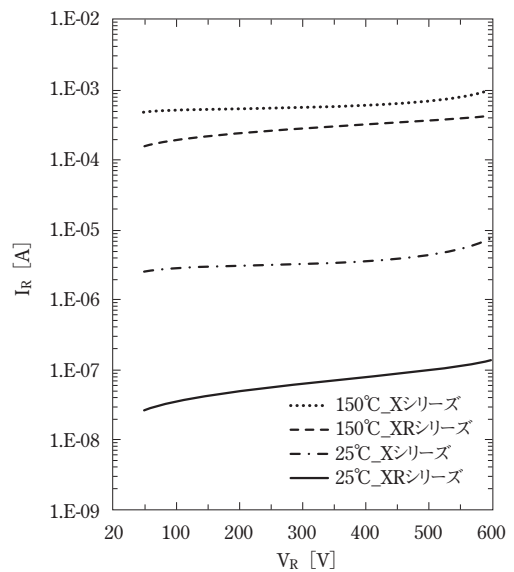


図7 V_R - I_R 代表温度特性
 V_R - I_R Temperature typical characteristic values

3.4 順方向特性

図8にXRシリーズの順方向の代表温度特性を示す。

XRシリーズは逆方向特性、特にスイッチング特性に特化した製品となっているため、定格電流20Aでの V_F at 25℃は約2.1Vと従来品に比べ高い値になっている。

しかしながら、4章の図9,10にも示すように、PFC回路の全体損失に対するダイオード順方向損失の割合は小さく、効率に対する影響は少ない。

また、低温の大電流領域にて V_F の低下が見られる。これは、大電流領域ではepi層の抵抗成分による影響が大きくなるが、低温では格子振動が小さいため電子の移動度が大きく、その影響で抵抗成分が小さくなったことによるものと考えられる。ダイオードとして異常な動作が起こっている訳ではなく、全保証温度範囲にて正常に動作している。

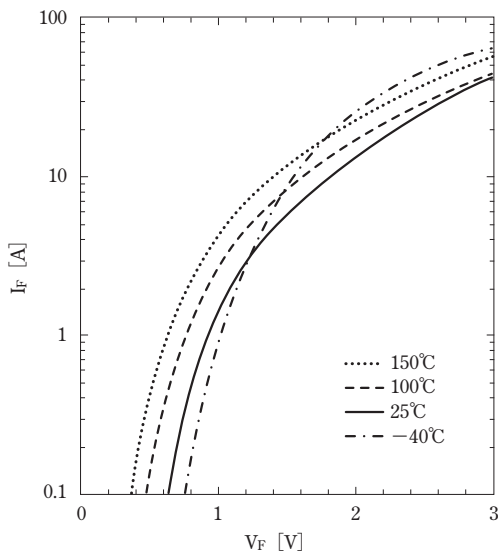


図8 If-Vf 代表温度特性
If-Vf Temperature typical characteristic values

XRシリーズは従来品のLシリーズに比べIGBTのターンオン損失が大幅に低減しており、50kHzで約30%損失が低減している。さらに100kHzにおいては約35%損失が低減しており、スイッチング回数がより多くなる高周波の方がより大きな損失低減効果が得られた。

市場的にはまだまだ高価なSiCにより近い性能をSiデバイスにて実現できた。

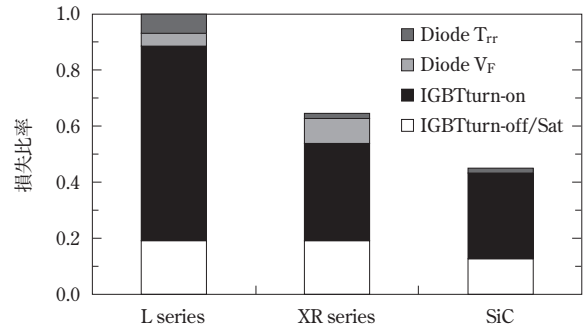


図10 PFC回路動作評価結果 (100kHz)
PFC circuit movement evaluation results (100kHz)

4. PFC回路動作評価結果

PFC回路の代表的な制御方式の一つに電流連続方式 (CCM : Continuous Current Mode) がある。この方式はインダクタに連続的に電流を流すためスイッチ素子のピーク電流が抑えられ、スイッチ素子のオン損失を小さくできるメリットがある。

しかしながら、整流ダイオードとしては電流を流している状態でスイッチされるため、非常に高速なスイッチング特性が求められることになる回路方式である。

今回、スイッチ素子の周波数可変タイプのCCM PFC試験回路で、周波数を50,100kHz at 100°Cで動作させた際のLシリーズ、XRシリーズ、SiCでの各々の回路損失を図9, 10に示す。

5. むすび

今回、高周波整流用途としてスイッチング特性に優れた600V耐圧の低ノイズFRDを開発した。

今後、エアコンやEV用充電スタンドといった市場へ参入し、数量規模の拡大を狙っていく。

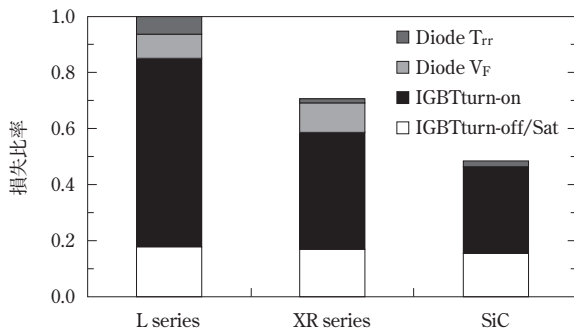


図9 PFC回路動作評価結果 (50kHz)
PFC circuit movement evaluation results (50kHz)