

采用第6代 IGBT 硅片的 IGBT 模块

Taketo Nishiyama, Yuji Miyazaki

(三菱电机功率器件福冈制作所, 日本 福冈 819-0192)

摘要:从 2007 年开始上市的最新 NX 系列绝缘栅双极型晶体管(Insulated Gate Bipolar Transistor, 简称 IGBT)模块, 采用统一的封装和功率硅片, 其端子和电路结构具有前所未有的灵活性。在 NX 系列开发的第 1 阶段, 采用的第 5 代载流子存储式沟槽型双极型晶体管(Carrier Stored Trench Gate Bipolar Transistor, 简称 CSTBT™)硅片技术实现了高效性能。介绍在 NX 系列开发的第 2 阶段所采用的 1.2 kV 第 6 代 IGBT 硅片技术。新的第 6 代 IGBT 模块进一步提高了效率并降低了噪声, 从而拓宽了客户的应用范围。

关键词:模块 / 绝缘栅双极型晶体管; 载流子存储式沟槽型双极型晶体管

中图分类号: TM46

文献标识码: A

文章编号: 1000-100X(2009)09-0000-00

The IGBT Module with 6th Generation IGBT Chip

Taketo Nishiyama, Yuji Miyazaki

(Power Device Works, Mitsubishi Electric Corporation, Fukuoka 819-0192, Japan)

Abstract: In 2007, the latest IGBT modules 'NX series' was started to release. The NX series has novel flexibility of its terminal and circuit configuration by using some unified package parts and power semiconductor chips. In this 1st step of NX series, our 5th generation IGBT chip that realized high efficiency characteristics by using CSTBT™ chip technology is adopted. In this paper the 2nd step NX series with 1.2 kV 6th generation IGBT chip technology is presented. The further improvement of efficiency and low noise characteristics on the new device will extend the application range of users.

Keywords: module / Insulated Gate Bipolar Transistor; Carrier Stored Trench Gate Bipolar Transistor

1 前言

IGBT 在诸如变频器、电源以及运动控制等功率系统的输出级是非常受欢迎的半导体器件。IGBT 模块将功率硅片集成在绝缘封装内, 使其适用的功率范围小到 1 kW 以下, 大到 1 MW 以上。第 1 阶段开发的 NX 系列 IGBT 模块的封装具有很高的灵活性^[1]。另外, 减小 IGBT 模块的功耗是客户期望降低整个系统成本、降低 EMI 噪声辐射以及延长寿命的关键。先进的 CSTBT™ 硅片技术为 NX 系列 IGBT 模块第 2 阶段开发提供了很好的解决方案。

2 NX 系列 IGBT 模块

通常, IGBT 模块被设计成各种尺寸以满足合适的空间和好的性价比, 而且 IGBT 模块包含了外壳、底板、端子、绝缘部分以及功率硅片等许多封装部件。NX 系列采用统一的封装部件和通用的封装工艺实现了容量范围大且能提供各种电路拓扑结构的模块。除了 1 单元、2 单元、7 单元和 CIB 中整流-逆变-制动结构外, 还可以按照客户的要求定制模块。各种封装类型可将各种电路灵活地封装到母板上并能灵活设计端子结构。

3 硅片技术

3.1 IGBT 硅片工艺

优良指数 (Figure of Merit, 简称 FOM) 的定义为: 在结温 $T_j=125\text{ }^\circ\text{C}$ 时, $FOM=J_c/(V_{\text{cesat}}E_{\text{off}})$, 其中, J_c

为硅片电流密度; V_{cesat} 为饱和压降; E_{off} 为关断损耗。CSTBT™ 比沟槽型 IGBT 的 FOM 高。第 6 代 IGBT 的 FOM 比第 5 代的高 30%。

3.2 第 6 代 IGBT

第 6 代 IGBT 硅片是基于 CSTBT™ 技术研发的。图 1 示出它和第 5 代 IGBT 硅片的剖面图。两代硅片都有载流子存储层, 第 6 代 IGBT 硅片用薄片工艺将非穿通结构改为轻穿通结构^[2], 且通过元胞的优化设计可改善 $V_{\text{cesat}}-E_{\text{swoff}}$ 的折衷关系。

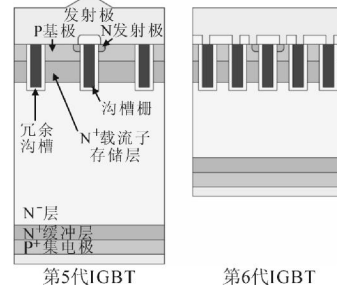


图 1 IGBT 的剖面图

采用精细图案工艺缩短元胞单元的间距并优化载流子存储层的掺杂浓度, 从而加强了载流子存储层存储载流子的效果^[3]。 $V_{\text{cesat}}-E_{\text{swoff}}$ 折衷关系得到显著改善, 如图 2 所示。

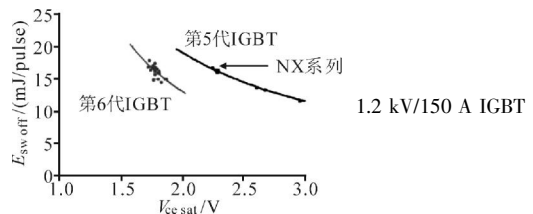


图 2 $T_j=125\text{ }^\circ\text{C}$ 时, V_{cesat} 和 E_{swoff} 的关系

定稿日期: 2009-7-20

作者简介: Taketo Nishiyama, 男, 日本人, 研究方向为 IGBT 模块的设计。

另外,IGBT 的功率损耗与短路安全工作区域(SCSOA)间也存在折衷关系。图 3 示出第 6 代 IGBT 的实测 SCSOA 曲线。在不牺牲 IGBT 功耗性能的前提下,通过优化设计载流子存储层和元胞单元,成功实现了将短路耐受能力提高到 10 μ s。

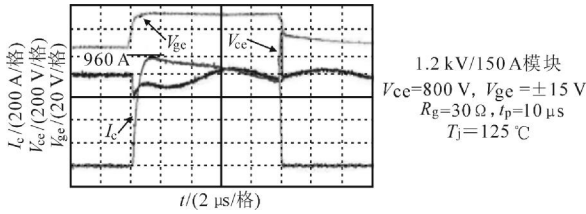


图 3 SCSOA 波形

3.3 新设计的续流二极管

最新设计的续流二极管 (Free Wheeling Diode, 简称 FWD) 和以前的续流二极管的结构如图 4 所示。薄晶片工艺技术改善了正向压降 V_F 和反向恢复功耗 E_{swrec} 的折衷关系,如图 5 所示。

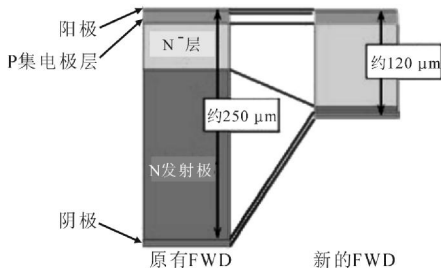


图 4 续流二极管的剖面图

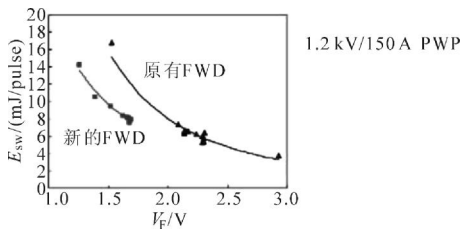


图 5 V_F 和 E_{sw} 的关系 ($T_j=125\text{ }^\circ\text{C}$)

4 开通性能

降低开通波形的 dv/dt 能够很好地抑制设备产生的 EMI。通常采用控制外接栅极驱动速度来降低开关开通时的 dv/dt 。然而,降低 dv/dt 会增加 IGBT 硅片的开通损耗 E_{swon} 。图 6 示出 E_{swon} 和 dv/dt 的关系。开关速度可以由改变栅极电阻来调节。假定客户应用时的 $dv/dt=7.5\text{ kV}/\mu\text{s}$, 则在此条件下第 6 代 IGBT 的 E_{swon} 比原有的 IGBT 低 20%。续流二极管的软反向恢复电流性和 IGBT 的反向传导电容 C_{res} 可改善 $E_{swon}-dv/dt$ 的折衷关系。第 6 代 IGBT 具有更大的可选范围,而且易于控制功耗对应噪声的性能。

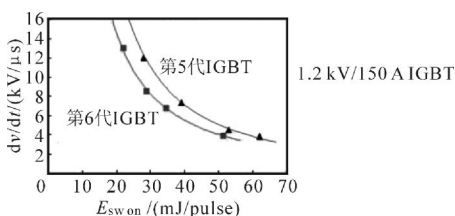


图 6 $T_j=125\text{ }^\circ\text{C}$ 时, E_{swon} 和 dv/dt 的关系

5 关断性能

在开关关断的时候, N^- 层中有很多电子空穴和自由电子。因此,集电极电流不可能被迅速阻断,而是逐渐减小。集电极电流衰减的时间取决于电子的寿命。另外,第 6 代 IGBT 由于采用优化的 LPT 结构,从而改善了拖尾电流。其关断拖尾电流比第 5 代的小,因此硅片的关断损耗比第 5 代的更低。

6 功率损耗性能

在模块的额定电压电流值为 1.2 kV/150 A, 30 kW 满载, 400 VAC 条件下,对通用 PWM 变频器驱动中应用的第 5 代和第 6 代 IGBT 模块的功率损耗进行了仿真,栅极电阻值的选取要保证每个器件开通波形的 dv/dt 为相同值 ($7.5\text{ kV}/\mu\text{s}$)。IGBT/FWD 硅片的总的功率损耗包含开关损耗和静态损耗。仿真结果表明,第 6 代 IGBT 模块的功率损耗比第 5 代的低约 20%。

7 热仿真

在 NX 系列 2 单元模块的额定电压电流值为 1.2 kV/1 kA, 输入电压为 400 V, 185 kW 变频器满载运行条件下,对 NX 系列 IGBT 模块进行热仿真。仿真得出,第 6 代 IGBT 的 T_j 比第 5 代的平均低 25 $^\circ\text{C}$ 。新的续流二极管的 T_j 比原有的平均低 21 $^\circ\text{C}$ 。因此,采用第 6 代 IGBT 模块的设备可以减小散热系统的体积、重量以及成本。

8 可靠性

IGBT 模块的寿命通常取决于间歇性运行模式下结温的循环次数。第 6 代 NX 系列 IGBT 的功率循环次数比 H 系列高。此外, T_{jmax} 也有所提高。第 6 代 NX 系列 IGBT 模块的硅片 $T_{jmax}=175\text{ }^\circ\text{C}$ 。对 NX 系列 IGBT 模块分别在 T_{jmax} 为 125 $^\circ\text{C}$ 和 175 $^\circ\text{C}$ 的条件下进行测试。试验表明, $T_{jmax}=175\text{ }^\circ\text{C}$ 的 NX 系列 IGBT 模块寿命介于 $T_{jmax}=125\text{ }^\circ\text{C}$ 的 NX 系列和 H 系列 IGBT 模块的寿命之间。

9 结论

NX 系列 IGBT 模块采用最新开发的第 6 代 IGBT 和新设计的续流二极管,使功率损耗和发热比以前的产品更低,而且可以提高客户应用系统的效率。另外,第 6 代 NX 系列 IGBT 模块灵活的封装和优越的性能可很好地拓展客户的应用范围。第 6 代 NX 系列 IGBT 模块对于电力电子系统的发展具有很大的潜能。

(备注:该文由三菱电机机电(上海)有限公司负责编译。)

参考文献

[1] Manabu Matsumoto, et al. The Development of New IGBT Module with The Unified Package Parts. PCIM[C]. CHINA, 2007.
[2] Tetsuo Takahashi, et al. CSTBT™(III) As the Next Generation IGBT, ISPSD[C] 2008.
[3] Katsumi Satoh, et al. New Chip Design Technology for Next Generation Power Module. PCIM[C]. Europe 2008.