xEV 用 IGBT 模块过电流耐量的提高

Enhanced Over-Current Capability of IGBT Modules for xEVs

原　康文 HARA, Yasufumi　　吉田　崇一 YOSHIDA, Soichi　　井上　大辅 INOUE, Daisuke

近年来，随着节能化和 CO_2 排放限制的推进，世界各国都在加速向混合动力汽车和纯电动汽车类电动车辆转变。搭载于电动化车辆变频器上的车载 IGBT，需要提高对异常情况下所产生的过电流的耐量（I^2t 耐量）。富士电机开发了搭载 RC-IGBT 的 xEV 用 IGBT 模块，采用了引线框架方式连接 RC-IGBT 表面电极电路，提高了 I^2t 耐量。传统结构采用了单独 FWD 和引线焊接的方式，而通过 RC-IGBT 与引线框架的组合结构，I^2t 耐量提高了 2.6 倍。

In recent years, measures to achieve energy savings and reduce CO_2 emissions have accelerated the switchover to xEVs, such as hybrid vehicles and electric vehicles, throughout the world. The IGBTs used in the inverters of xEVs are being required to enhance their capability to withstand over current (I^2t capability) at the time of accident. Fuji Electric has developed IGBT modules for xEVs that use RC-IGBTs and a lead frame to connect to the circuit of RC-IGBT surface electrodes, improving I^2t capability. The I^2t capability is 2.6 times higher for the new structure combining RC-IGBTs with a lead frame than for the conventional method using discrete FWDs and wire bonding.

1　引言

近年来，随着节能化和 CO_2 排放限制的推进，世界各国正在加速向混合动力汽车（HEV: Hybrid Electric Vehicle）和电动汽车（EV:Electric Vehicle）等电动化车辆（xEV）转换。在 HEV 和 EV 中，除了为驱动电动机而搭载的变频器之外，对作为其构成部件的 xEV 用 IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）模块的需求也在增加。该 xEV 用 IGBT 模块是实现车辆小型化、高效化和高可靠性的关键器件。

富士电机开发了提高了过电流耐量（I^2t 耐量）的 xEV 用 IGBT 模块（**图 1**），该模块搭载了将 IGBT 和 FWD（Free Wheeling Diode）进行了单芯片化的 RC-IGBT（逆导通 IGBT: Reverse-Conducting IGBT），并采用了引线框架（LF）方式连接 RC-IGBT 表面电极电路代替传统的引线焊接方式。下面，对其内容进行介绍。

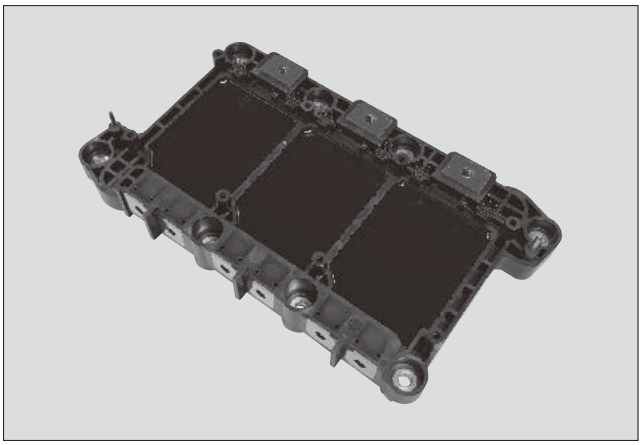

图 1　xEV 用模块（新开发产品）

2　I^2t 耐量

2.1　提高 I^2t 耐量的必要性

搭载于车辆上的变频器装置因过电流或过电压等发生异常时，将执行减速、停止处理。此时，为了防止电机的反电动势对平滑电容器的破坏，会启动主动短路（ASC: Active Short Circuit）控制，有时会使上下桥臂中一侧的 IGBT 处于 ON 状态（**图 2**）。为改善 HEV 和 EV 的效率，电池出现了高电压化的趋势。伴随着这一趋势，电机的驱动电压变高，在 ASC 控制动作时功率模块内的半导体芯片中瞬间流动的过电流增加。针对该过电流产生的热量，提高 IGBT 模块 FWD 芯片的 I^2t 耐量是一个需要面对的课题。[1]

2.2　I^2t 耐量的定义与决定耐量的因素

如式(1)所示，I^2t 耐量指在通电时电流和电压所产生的焦耳热相关时间段 8 ～ 10 ms 的正弦半波的 1 个周期内元件对破坏的耐量。如**图 3** 所示，是电流的平方对时间的积分。

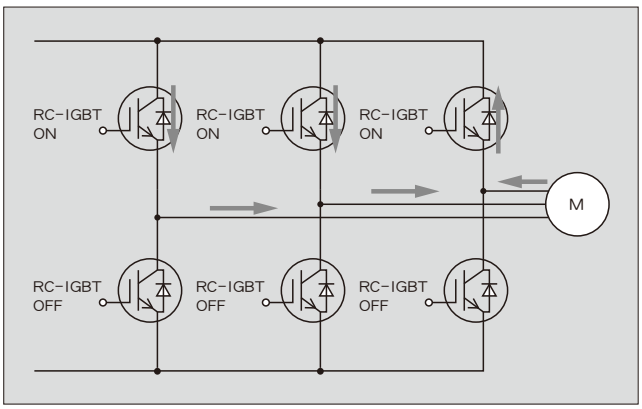

图 2　主动短路（ASC）时的电流路径例

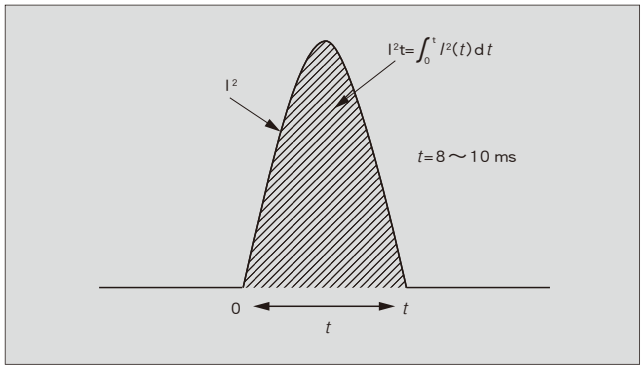

图 3　定义 I^2t 的电流波形

$$E=\int_0^t IV\,dt=\int_0^t I\cdot IR\,dt\propto\int_0^t I^2dt \quad \cdots\cdots(1)$$

I^2t 耐量不仅取决于芯片自身的发热，还取决于与表面电极和电路的连接处的发热和散热特性。因此，为了提高 I^2t 耐量，需要提高散热性。

3　应用 RC-IGBT 优化散热性

传统 IGBT 和 FWD 单独芯片的组合（IGBT+FWD 芯片结构）与 RC-IGBT 的截面模式图如**图 4** 所示。在传统模块中，IGBT 芯片与 FWD 芯片分别进行了配置。RC-IGBT 则在 1 个芯片内将 IGBT 区域和 FWD 区域配置成条纹状，因此搭载面积减少。而且，因 IGBT 和 FWD 不同时通电，各自工作时可在整个芯片表面上进行散热，所以具有热阻低的特点[2]。

在传统的 IGBT+FWD 中，FWD 芯片尺寸的面积比 IGBT 小。因此，存在 FWD 芯片的热阻变高，I^2t 耐量下降的趋势。

FWD 芯片和 RC-IGBT 芯片的 I^2t 耐量实测结果如**图 5** 所示。一旦 FWD 的芯片面积（活性面积）增大，则热阻和电流密度均会下降，I^2t 耐量提高。在 FWD 区域活性面积相同的条件下进行比较，结果发现 RC-IGBT 的 I^2t 耐量约为 FWD 的 2 倍。该耐量的提高源于上述芯片的热阻降低，且 RC-IGBT 引线数量比 FWD 多 20%，从而提高了散热性。

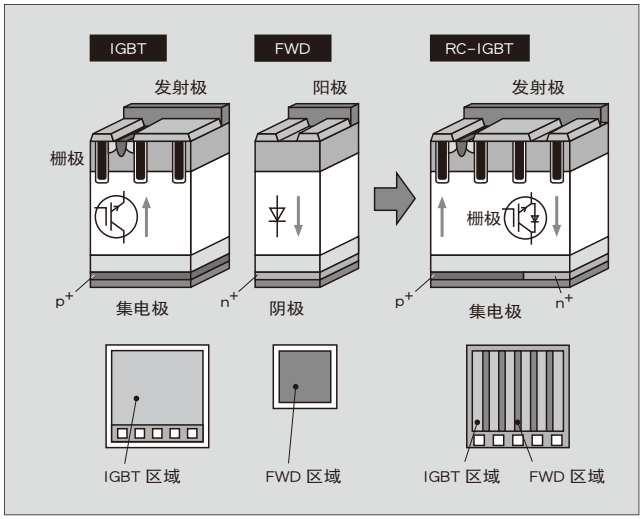

图 4　单独芯片与 RC-IGBT 的比较图

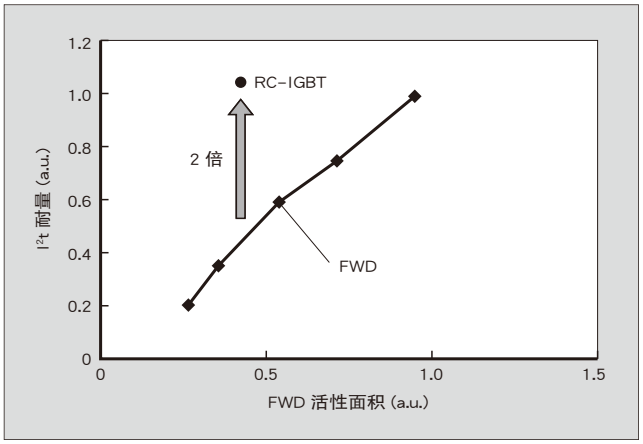

图 5　I^2t 耐量的比较

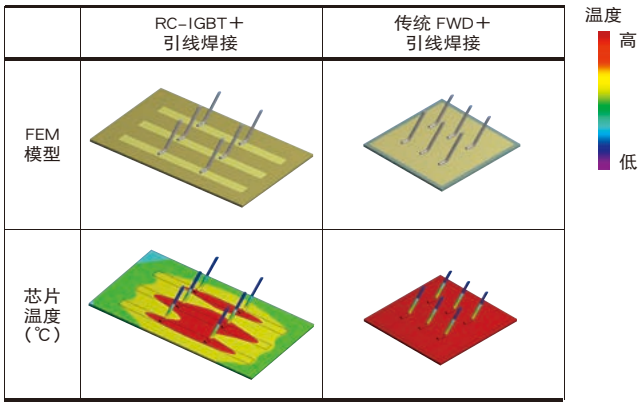

图 6　引线焊接结构的热仿真

为验证实验结果的有效性，进行了 FWD 通电时的仿真，其结果如**图 6** 所示。在本仿真试验中，芯片厚度、引线数量、FWD 活性面积相同。从实验结果可知，RC-IGBT 芯片中 FWD 单元的发热会扩散至 IGBT 单元，因此 160℃以上的高温区域比 FWD 芯片减少。结果表明，RC-IGBT 比传统 FWD 热阻低，I^2t 耐量提高。

4　通过引线框架方式提高散热性

对 I^2t 耐量施加影响的散热条件，也可通过增加芯片与配线的接合面积而得到提高。在传统的引线焊接方式（**图 7**(b)）中，将引线通过超声波接合在芯片的表面电极上。而在 LF 方式（**图 7**(a)）中，则将 LF 接合在芯片的表面电极上，增加了接合面积，提高了散热性[3]。这一点，通过**图 8** 所示的热仿真也得到了确认。

表 1 所示为 LF 方式与引线焊接方式 I^2t 耐量的实测结果。以同一活性面积进行比较发现，采用 LF 方式，I^2t 耐量从 0.3 提高至 0.4，提高了约 30%。

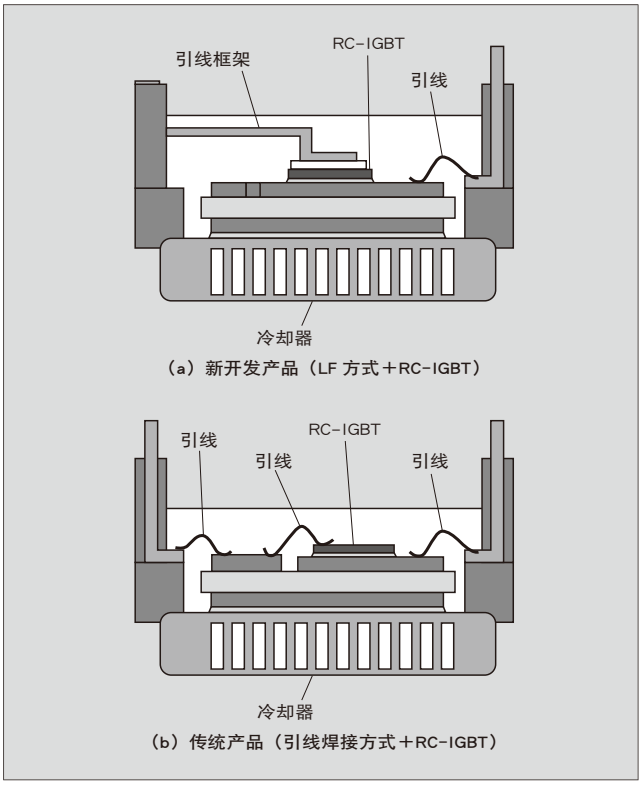

图 7　新开发产品与传统产品的结构比较

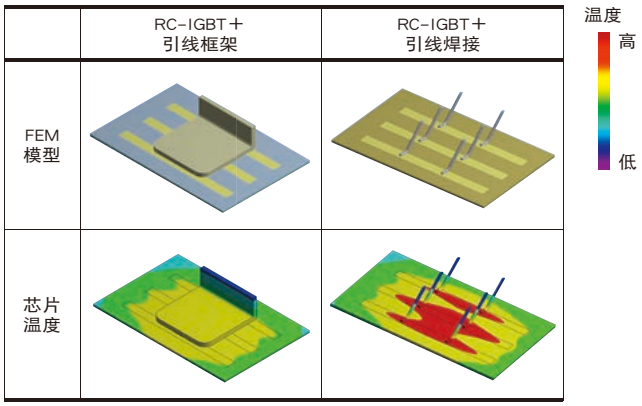

图 8　LF 与引线焊接结构的热仿真

表 1　I^2t 耐量比较（LF－引线焊接）

连接方式	I^2t 耐量（a.u.）
LF	0.4
引线焊接	0.3

5　新开发产品与传统产品的 I^2t 耐量比较

与采用引线焊接方式，由单独 FWD 和 IGBT 组成的 IGBT 模块（传统产品）相比，采用 LF 方式的 RC-IGBT 模块（新开发产品）的 I^2t 耐量提高到了 2.6 倍。这是因为 RC-IGBT 和 LF 方式的组合提高了散热性。

6　后记

以上，对 xEV 用 IGBT 模块的过电流耐量的提高进行了介绍。此次，通过在 xEV 用 IGBT 模块中采用 RC-IGBT 和 LF 方式，提高了 I^2t 耐量。因此，可针对变频器装置 ASC 控制时的过电流，提供使用方便、可靠性高的 xEV 用 IGBT 模块。

今后，富士电机仍将进一步致力于 xEV 用 IGBT 模块的低损耗化、小型化和高可靠性化，为变频器装置的性能提高做出贡献。

参考文献

(1)　Nakano, H. et al. “Impact of I^2t capability of RC-IGBT and Leadframe combined structure in xEV active short circuit survival”. Proc. PCIM Europe 2018.
(2)　野口晴司等. 轻度混合动力车用 RC-IGBT. 富士电机技报. 2015, vol.C7, no.1, p.16-19.
(3)　Otsuki, M. et al. “Advanced thin wafer IGBTs with new thermal management solution”. ISPSD 2003.

原　　康文
从事车载 IGBT 模块的开发。现就职于富士电机株式会社电子元件事业本部电装事业部电装模块部。

吉田　崇一
从事车载用 IGBT 半导体元件的开发。现就职于富士电机株式会社电子元件事业本部电装事业部电装模块部。

井上　大辅
从事车载用 IGBT 模块的封装结构开发和设计。现就职于富士电机株式会社电子元件事业本部开发统括部封装开发部。

富士电机

Fuji Electric

＊本刊记载的公司名称及产品，有可能是各相关公司的商标或注册商标。