

## 译文

### 大功率器件(PMI:塑料模块式 IEGT, PPI:压接式 IEGT) 应用指南

本资料是为了参考的目的由原始文档翻译而来。  
使用本资料时，请务必以原始文档及其关联的最  
新东芝信息为准，并遵守该等原始文档和东芝信  
息。

原本：“ハイパワーデバイス(PMI,PPI) アプリケーションノート”

2016-12-05

翻译日: 2017-10-18

**大功率器件  
PMI:塑料模块式 IEGT  
PPI:压接式 IEGT  
应用指南**

## 目录

1. 结构和特征 .....	4
1.1. IEGT .....	5
1.2. IEGT 的特征 .....	5
1.3. IGBT 的剖面结构和耐高压的问题 .....	5
1.4. IEGT 栅结构的特征和注入增强增强效果的运用 .....	5
1.5. 压接式 IEGT 器件 PPI (Press Pack IEGT) .....	6
1.6. PPI 的特征 .....	6
1.7. 塑料模块式 IEGT 器件 PMI (Plastic Case Module IEGT) .....	7
1.8. PMI 的特征 .....	7
2. 术语和特性 .....	8
2.1. 各数据的解读 .....	9
2.2. 最大额定值 .....	13
2.3. 电气特性 .....	14
3. 使用注意事项 (使用半导体产品时) .....	16
3.1. IEGT 器件的选择 .....	16
3.2. 静电对策及栅极保护 .....	17
3.3. 保护电路的设计 .....	18
3.4. 散热设计 .....	18
3.5. 驱动电路的设计 .....	18
3.6. 并联连接 .....	18
3.7. 实际安装时的注意事项 .....	19
3.8. 储存与搬运相关注意事项 .....	19
3.9. 可靠性相关注意事项 (寿命设计) .....	20
3.10. 其他实际运用相关注意事项 .....	20
4. 保护电路的设计方法 .....	21
4.1. 脉冲电压的保护 .....	21
4.2. 短路保护 .....	22
5. 热设计和在散热片上的安装 .....	24
5.1. 散热理论 .....	24
5.1.1. 热等价回路 .....	24
5.1.2. 损耗计算 .....	24
5.1.3. 结温的脉冲响应 .....	25
5.2. 压接式 IEGT .....	26
5.2.1. 散热片的设计 .....	27
5.2.2. 压接状态的确认 .....	28

5.2.3. 压接式 IEGT 允许的最大功率 .....	29
5.2.4. 压接式 IEGT 允许的最大功率和 TFT 承受能力 .....	29
5.3. 塑料模块式 IEGT .....	30
5.3.1. 塑料模块式 IEGT 的安装方法 .....	30
6. 栅极驱动电路的设计 .....	31
7. 并联连接 .....	32
8. 可靠性相关信息 .....	33
8.1. 概要 .....	33
8.2. 功率器件的可靠性 .....	33
8.3. 具有代表性的可靠性试验 .....	34
8.4. 热疲劳寿命试验 .....	35
8.4.1. 功率周期承受能力曲线（塑料模块式器件） .....	35
8.4.2. TFT 承受能力曲线（塑料模块式器件） .....	36
8.5. 压接式器件的可靠性要点 .....	37
8.6. 压接式器件的热疲劳模式 .....	38
8.7. 压接式器件的故障模式 .....	38
9. 发生问题时的对应 .....	39
<b>RESTRICTIONS ON PRODUCT USE .....</b>	<b>41</b>

## 1. 结构和特征

IGBT 是用电压驱动来控制大电流的大功率器件。IGBT 一旦想实现高耐压，通态电压就会急剧增大，而 IEGT 则在发射极一侧的结构上下了很大功夫，很好的克服了这一问题，实现了低通态电压特性。其前身 n 沟道 IGBT 的基本结构和等价电路如图 1.1 所示。结构和 MOSFET 类似，基本差异是相对于 MOSFET 使用  $N^+ - N^-$  基板，它采用的是  $P^+ - N^+ - N^-$  基板。因此，基板之后的制造流程基本和 MOSFET 相同。

从等价电路可知，虽然是通过 PNP-NPN 晶体管接合的方式形成半导体开关器件的，但如结构图所示，NPN 晶体管的基极和发射极是利用 Al 配线实现短路连接的，是以尽可能不工作为前提来进行设计的，可以认为它和 IGBT 的基本工作没有关系。因此，可以判断 n 沟道 IGBT 的等价电路及工作机构和在输入段配置 n 沟道增强型 MOSFET、在输出段配置 PNP 晶体管的 MOS 倒置式达林顿复合电路是相同的。

但是，IGBT 的特征指的不仅仅是利用等价电路来说明的工作过程，通过 MOSFET 和 PNP 晶体管单片式构成实现的  $N^-$  区域的电导率调制也是重要特征之一。经过  $P^+ - N^+$  层注入到  $N^-$  层中的空穴（少数载流子）会引起 N-层发生电导率调制（MOSFET 的漏极电阻减少）效应。通过这种电导率调制机理，IGBT 就可以得到 MOSFET 耐高压器件中难以实现的低饱和电压特性。

如果从等价电路来看 IGBT 的饱和电压  $V_{ce(sat)}$ ，可以用以下公式进行表示，

$$V_{ce(sat)} = V_{BE} + I_{MOS} [R_{N-(MOD)} + R_{ch}]$$

同时 MOSFET 和 PNP 晶体管电流存在以下关系，

$$I_{MOS} = I_{IGBT} / (h_{FE} + 1)$$

PNP 晶体管的  $h_{FE}$  将会对 IGBT 饱和电压—开关特性之间的平衡关系产生很大影响。

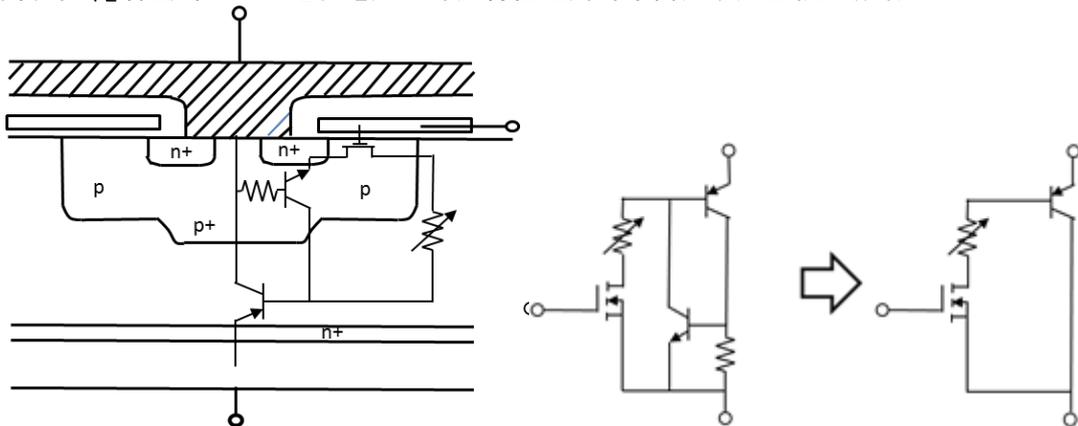


图 1.1 基本结构和等价电路

## 1.1. IEGT

IEGT 是用电压驱动来控制大电流的大功率器件。IGBT 一旦想实现高耐压，通态电压就会急剧增大，而 IEGT 则在发射极一侧的结构上下了很大功夫，很好的克服了这一问题，实现了低通态电压特性。并且，因为它还具备优越的关断能力和很强的耐损坏性能，所以将为机器的节能化和小型化·高效化做出巨大的贡献。它将在产业用驱动装置、功率用转换装置等支撑社会基础设施建设的产业领域发挥其性能。封装上采用压接式和塑料模块两种，可以根据应用装置的功率容量和负荷特性进行选择。

IEGT: Injection Enhanced Gate Transistor (电子注入增强绝缘栅极型晶体管)

## 1.2. IEGT 的特征

- 高耐压、低通态电阻
- IGBT 同等的宽安全工作领域 (高  $di/dt$ 、 $dv/dt$  承受能力)
- 通过电压驱动实现驱动电路的简单化、小型化
- 高速开关工作

## 1.3. IGBT 的剖面结构和耐高压的问题

图 A 表示的是传统 IGBT 剖面结构和 N 基区中的载流子分布。当集电极的电极侧越来越靠近发射极的电极侧时，载流子分布出现单一减少的趋势。为了实现耐高压，就必须扩大集电极·发射极之间的 N 基区范围，所以载流子较少的区域就会越来越厚，其阻抗部分会增加，电压降就会越来越大。也就是说，会出现通态电压越来越大的问题。

## 1.4. IEGT 栅结构的特征和注入增强增强效果的运用

图 B 所示的是 IEGT 的剖面结构和载流子分布。和 IGBT 相比，因为设置了深而宽的沟槽栅电极，所以穿过发射极电极的阻抗会变大，将有效抑制载流子的穿越。其结果是会造成载流子蓄积，N 基区的载流子分布在发射极电极侧将不断增加。我们把这种载流子的注入蓄积效果称之为注入增强增强效果 (Injection Enhancement Effect)。采用这种栅结构之后，即使是实现了耐高压也可有效抑制电压降的增大。

\* 现在还在开发、采用可以达到类似效果的其他结构。

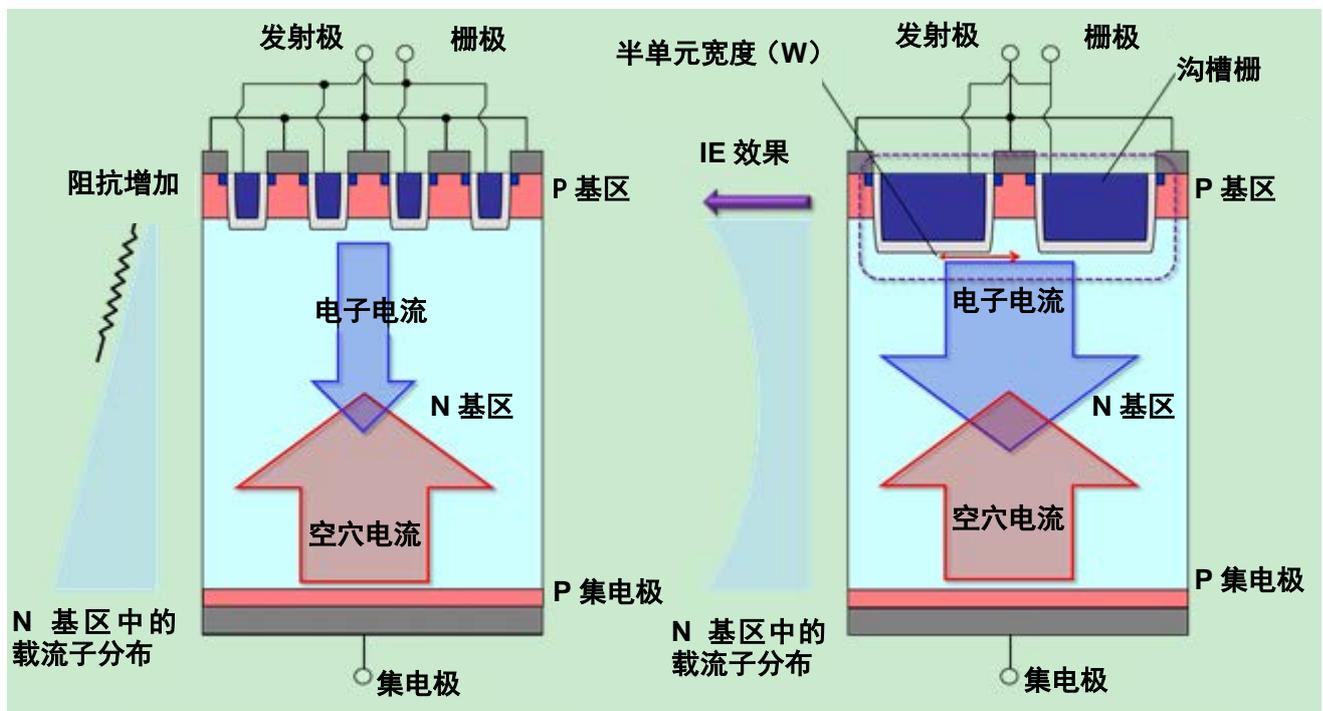


图 A IGBT 芯片剖面结构及载流子分布

图 B IEGT 的芯片剖面结构及载流子分布

## 1.5. 压接式 IEGT 器件 PPI (Press Pack IEGT)

器件中所有的电气性连接都是通过压接实现的。因为不是通过引线键合来进行连接的，所以预计在应对热疲劳方面的高可靠性值得期待。即使产品不慎出现了电气性故障损坏，因为电极的集电极和发射极之间会呈现短路状态，所以只要串联连接几个一起使用，就可以在不运行装置的条件继续工作。它采用双面散热结构，还可以进行集电极侧、发射极侧的双面冷却。同时，利用陶瓷和金属打造气体密封结构，使得它还具有很好的防潮性能，可以直接浸渍到冷却液中，所以也可进行高效冷却。

## 1.6. PPI 的特征

- 通过压接方式实现电气性连接

将 IEGT 芯片配置到同一平面形状中，然后用钼片从上下两个方向开始逐个均匀的压接芯片。芯片集电极和发射极的电极将通过这个钼片，在机械性压接力的作用下分别和集电极及发射极的铜电极发生接触，进行电气性连接和散热。

- 利用气体密封结构实现的高可靠性

将惰性气体密封到器件内部，防止因电极表面氧化造成器件老化，具有很好的抗热性，可靠性非常高。

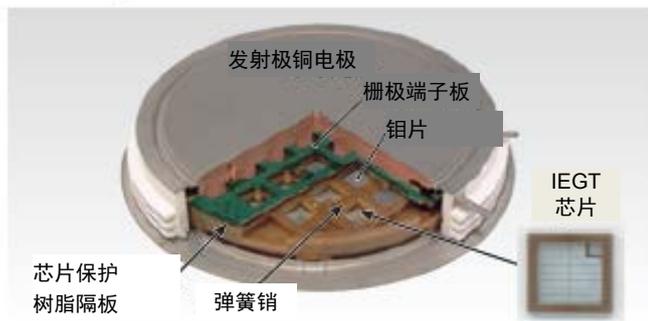
- 优越的并联工作技术

为防止并联连接的多个 IEGT 芯片在开关工作时相互干涉产生振动，特别在栅极端子板内的配线上下了很大的功夫，使其可以进行同步工作。

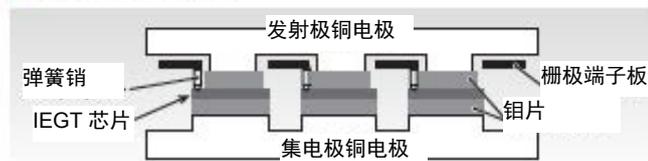
- 防破裂的封装结构

采用可有效保护 IEGT 芯片的树脂隔板，即使因芯片开关工作发生破裂熔化，封装具有很强的防爆能力。

■ PPI 的结构



■ PPI 的剖面示意图



## 1.7. 塑料模块式 IEGT 器件 PMI (Plastic Case Module IEGT)

因为可以紧固螺丝后再安装到冷却器上，所以组装非常简单。采用热膨胀系数较低的底板 (Al-SiC)，同时实现了内部结构·部品的最优化处理，可有效改善热疲劳、功率循环承受能力等，实现寿命的延长。包装材料中采用很难引起漏电破坏的高 CTI\*标准材料，可有效提升包装表面的绝缘耐压性能。

\*CTI (Comparative Tracking Index)：相对漏电起痕指数

## 1.8. PMI 的特征

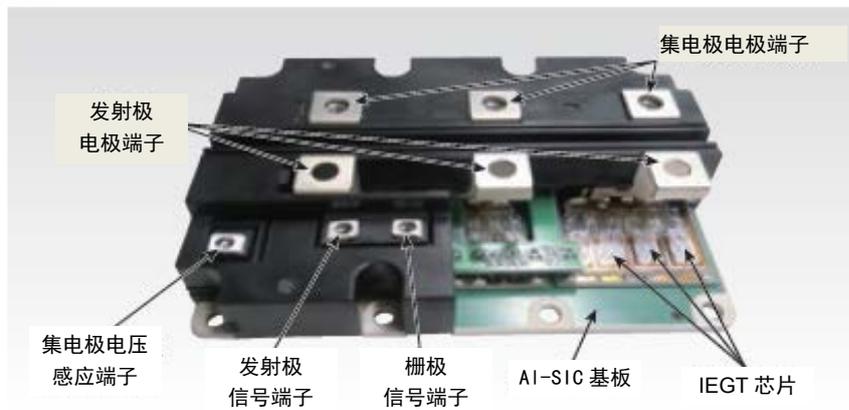
- 塑料模块式封装组装简单

它是在陶瓷制的绝缘基板上焊接多个 IEGT 芯片，通过引线键合和各端子进行连接的一种结构。这个塑封模块是单面散热的内部绝缘体，使用方便。

- 底板中采用 Al-SiC 复合材料

为确保它的热可靠性，包装底面的金属板应使用热膨胀系数较低的 Al-SiC 铝碳化硅复合材料 (Aluminum Silicon-Carbide)

PMI 的结构

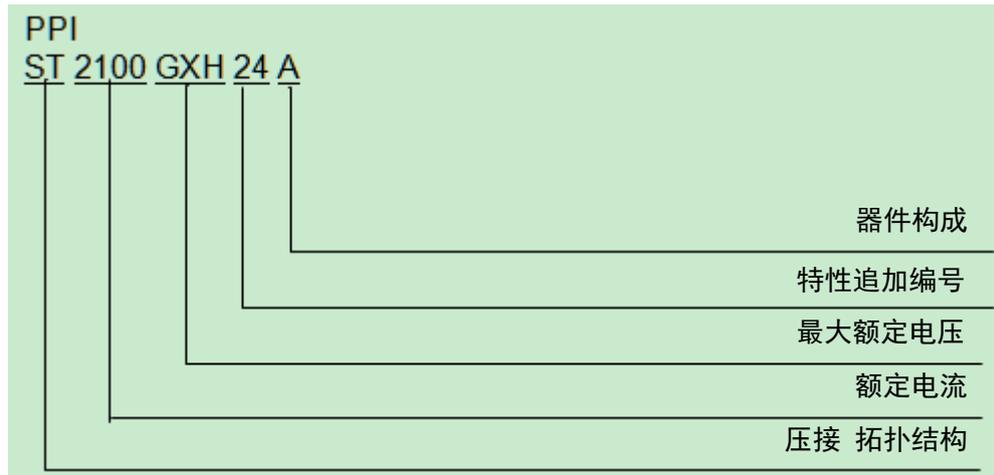
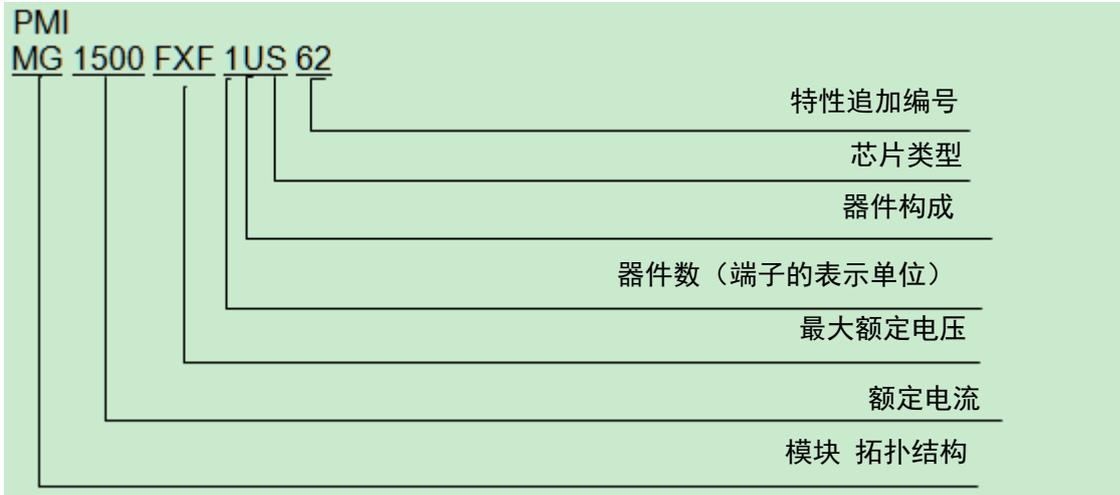


## 2. 术语和特性

以下将以 MG1500FXF1US62 为例，根据技术资料等中记载的数据对 IEGT 模块的特性进行说明。

### 型号

IEGT PMI、PPI 产品名称的构成如下。



同时，第 3 个项目的字母意思如下：

第 3 个项目的文字	最大电压范围 (V)
S	大于等于 1400~小于 1500
T	大于等于 1500~小于 1600
U	大于等于 1600~小于 1700
V	大于等于 1700~小于 1800
W	大于等于 1800~小于 1900
X	大于等于 1900~小于 2000
Y	大于等于 2000~小于 2100
FXF	3300
GXH	4500
JX	6000

### 特性数据的含义

一般情况下，IEGT 模块中内置有 IEGT 和续流二极管（FWD），通过开关工作使用时，会分别对这两者产生静态损耗和动态损耗。

IEGT、FWD 各个器件处于 ON 状态时的损耗称之为静态损耗，从 ON 切换到 OFF 或从 OFF 切换到 ON 的瞬间产生的损耗称之为动态损耗。

静态损耗相关数据为  $I_C-V_{CE}$ 、输出特性、 $I_F-V_F$ 。

动态损耗相关数据为  $E_{on-I_C}$ 、 $E_{off-I_C}$ 、 $E_{dsw-I_F}$ 、 $E_{on-R_{G(on)}}$ 、 $E_{off-R_{G(off)}}$ 、 $E_{dsw-R_{G(on)}}$ 。

IEGT 驱动电路容量设计中所需的数据为  $C_{ies}$ 、 $C_{oes}$ 、 $C_{res-V_{CE}}$ 、 $V_{GE-Q_g}$ ，输入驱动电路的 ON 信号的时序相关数据为  $t_{d(on)}$ 、 $t_r$ 、 $t_{d(off)}$ 、 $t_f-I_C$ 、 $t_{rr}$ 、 $I_{rr-I_F}$ 。

散热设计相关数据为  $R_{th(j-c)}-t$ 。

IEGT 在切换到 OFF 的瞬间所产生的脉冲电压会使其产生损耗，因该损耗造成损坏时的损坏模式相关数据称为 RBSOA，FWD 进行反向恢复工作时的损坏强度相关数据称之为 RRSOA。

## 2.1. 各数据的解读

### (1) $I_C-V_{CE}$

这个数据表示的是给器件的 G-E 之间外加 +15V 的电压使器件处于 ON 的状态时，流经 C-E 之间的电流 ( $I_C$ ) 和此时 C-E 之间产生的电压 ( $V_{ce}$ ) 之间的关系。可以通过使用时通电电流  $I_C$  和此时电压 ( $V_{ce}$ ) 的乘积计算器件处于 ON 状态时的静态损耗功率 ( $P_{sat}$ )。因为使用时器件的温度会升高，所以进行损耗计算时请使用  $T_j=125^\circ\text{C}$  或  $150^\circ\text{C}$  的曲线。

### (2) 输出特性

这个数据是  $I_C-V_{CE}$  特性中，固定  $T_j=150^\circ\text{C}$  或  $T_j=125^\circ\text{C}$ ，变动 G-E 之间电压 ( $V_{GE}$ ) 使  $I_C$  发生变化，然后对 C-E 之间的电压进行测量后得到的值。表示的是在使用的  $I_C$  条件下，为降低器件损耗获得必要的  $V_{GE}$  电压所需的数据。

### (3) $I_F-V_F$

这个数据表示的是给 FWD 通正向电流 ( $I_F$ ) 时正负极之间的电压值。  
和  $I_C-V_{CE}$  特性一样，可以计算 FWD 的静态损耗功率 ( $P_F$ )。

### (4) $E_{on-I_C}$

图 2.1 对通过开关 IEGT 进行使用时的电路进行了简单的记载，  
图 2.2 对这种情况下各部位的波形进行了简化展示。

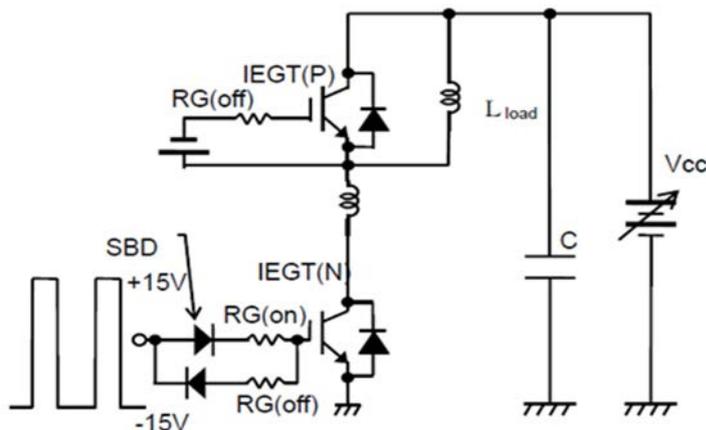


图 2.1 诱导负荷开关测量电路图

这个数据表示的是变动  $I_c$  获得图 2.1 中器件切换到 ON 状态时产生的损耗  $E_{on}$  时所需的数据。获得和使用  $I_c$  对应的  $E_{on}$ ，将这个值乘以使用频率就可以得到开通损耗功率 ( $P_{on}$ )。

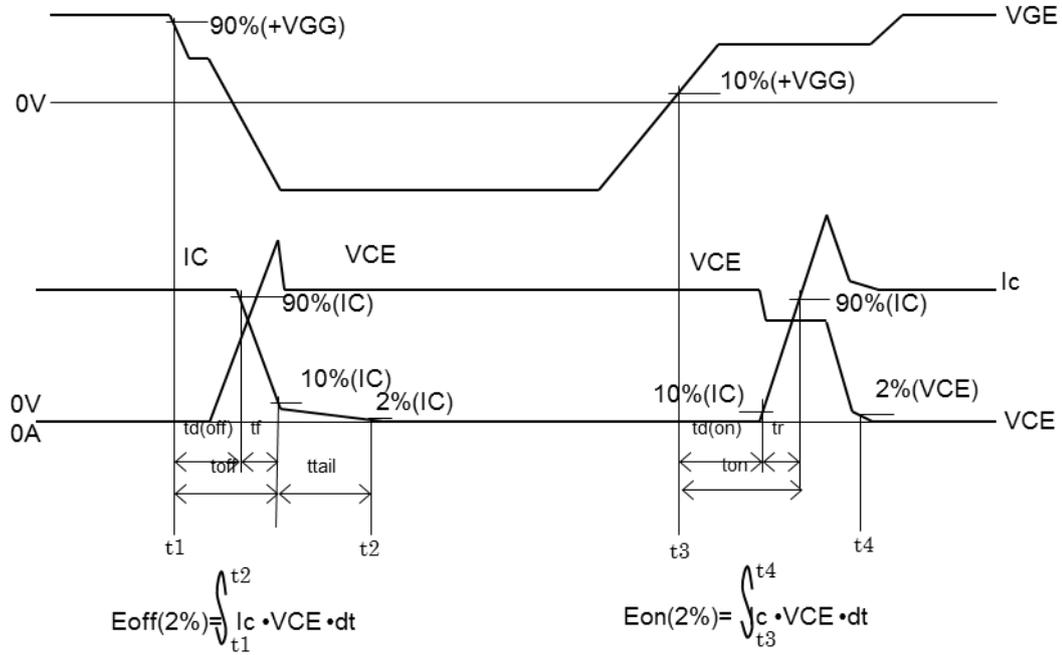


图 2.1 时序图 (IEGT 部位)

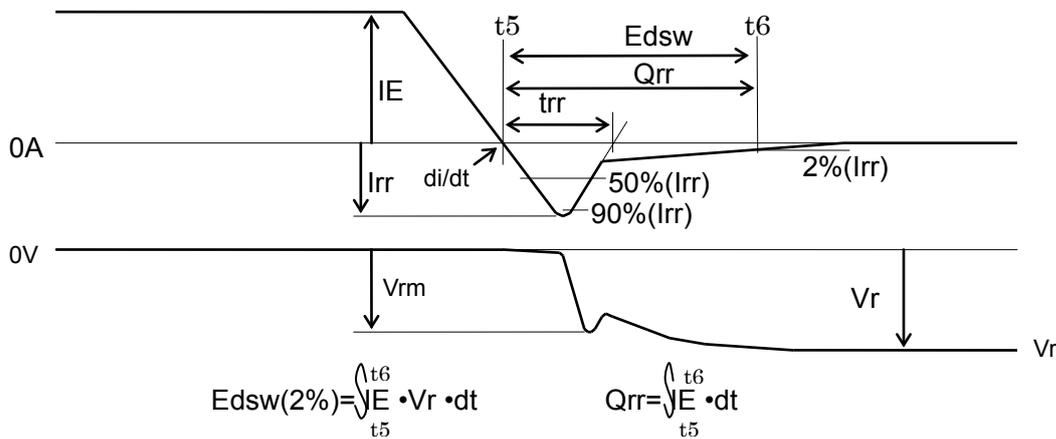


图 2.2 时序图 (FWD 部位)

(5)  $E_{off-Ic}$

这个数据和  $E_{on-Ic}$  一样，表示的是为获得器件切换到 OFF 状态时产生的损耗  $E_{off}$  所需的数据。

(6)  $E_{dsw-I_F}$

图 2.3 表示的是通过开关 FWD 进行使用时，各部位波形的简略图。

将图 2.3 中电流波形 ( $I_{rr}$ ) 和电压波形 ( $V_r$ ) 的乘积记载为  $E_{dsw}$  的期间，积分能量为  $E_{dsw}$ ，表示的是变动图中  $I_F$  时的  $E_{dsw}$  数据。获得和使用  $I_F$  条件对应的  $E_{dsw}$ ，将这个值乘以使用频率可以得到 FWD 的开关损耗功率 ( $P_{dsw}$ )。

(7)  $E_{on}\cdot R_{G(on)}$ 、 $E_{off}\cdot R_{G(off)}$ 、 $E_{dsw}\cdot R_{G(on)}$ 

表示的是在上述  $E_{on}$ 、 $E_{off}$ 、 $E_{dsw}$  的测量条件中，

变更图 2.1 中  $R_{G(on)}$ 、 $R_{G(off)}$  后取得的数据。IEGT 是通过变动驱动电路的  $R_G$  来使开关时间和开关损耗及开关时产生的脉冲电压发生变化的，但此时的开关时间及开关损耗和脉冲电压之间存在反向关系，所以决定  $R_G$  时，建议在同时关注这两个数据的基础上决定一个最佳值。

(8)  $V_{GE}\text{-}Q_g$ 

表示的是在设计图 2.4 所示的 IEGT 栅极驱动电路时与必要输入电荷量有关的数据。这种特性表示的是与栅极输入电荷量( $Q_g$ )相对应的栅极·发射极之间的电压 ( $V_{GE}$ ) 变化。表示 IEGT 转换到 ON 状态时向所需栅极容量中的充电电荷量。通过该图获得达到第 (2) 项中所述的  $V_{GE}$  时所需的电荷量  $Q_g$ ，将这个值乘以开关频率可以得到驱动电路所需的电流供应能力。

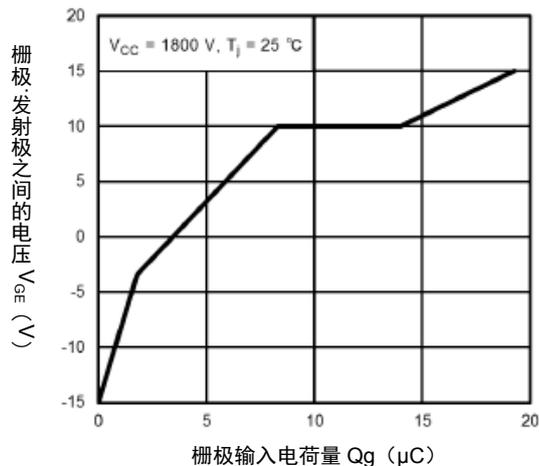


图 2.3  $V_{GE}\text{-}Q_g$  特性

(9)  $t_{d(on)}$ 、 $t_r$ 、 $t_{d(off)}$ 、 $t_f$ 、 $I_{lc}$ 、 $t_{rr}$ 、 $I_{rr}$ 、 $I_F$ 

表示的是取得图 2.2 和 2.3 中定义项目的电流依存特性时所需的数据。将上下串联连接的 IEGT 切换到 ON、OFF 时，如果它们同时处于 ON 的状态，来自于主电源的过大贯通电流会流经器件，所以有可能出现因损耗增大而发热的情况，最坏的情况下甚至可能使器件损坏，所以必须设置所有器件都不处于 ON 状态时的休止期间。对此时各器件的输入信号进行时序设计时就需要使用这些数据。

(10)  $R_{th(j-c)}\text{-}t$ 

这是进行散热设计时使用的数据。一般情况下，在应用时间 ( $t$ ) 内被施加功率 ( $P_c$ ) 时，可以用芯片的温度上升  $=R_{th(j-c)}(t)\times P_c$  来进行表示，但实际施加功率的波形非常复杂，所以将在后面进行详细的说明。压接式 PPI 中用 j-f (junction-fin) 代替 j-c 来进行测量的例子非常多。

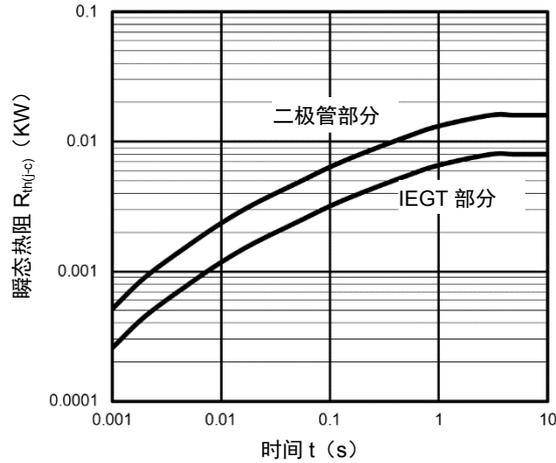


图 2.4  $R_{th(j-c)} - t$  特性最大值 (保证值)

(11) RBSOA

IEGT 从 ON 状态切换到 OFF 状态时, 电路中的杂散电感会使器件产生脉冲电压。这个数据表示的是用轨迹来表示 OFF 状态的关断电流及此时产生的脉冲电压时, 器件不会发生损坏的区域。设计时必须将使用的关断波形的轨迹控制在该区域范围内(减少电路中的杂散电感和追加脉冲吸收电路和放缓关断速度等)。

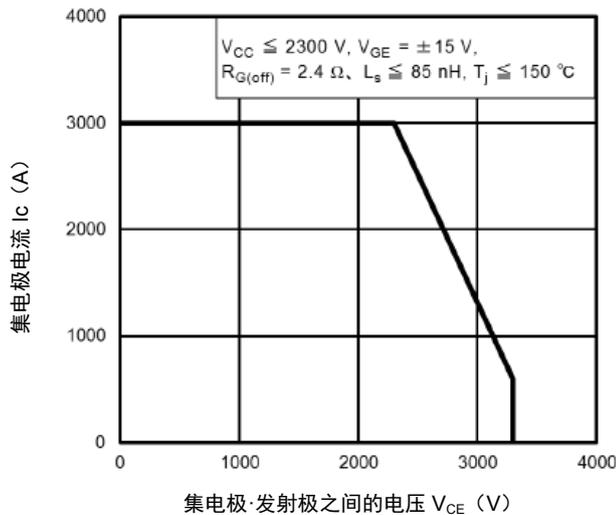


图 2.5 RBSOA 特性最大值 (保证值)

(12) RRSOA

这个数据表示的是 FWD 进行反向恢复工作 (参照图 2.3) 时, 反向恢复电流和此时器件中产生的集电极-发射极之间电压的轨迹即安全工作区域。设计时必须保证使用时的 FWD 在进行反向恢复工作时的波形在该范围内 (通过减少电路中杂散电感和放慢关断时间来缓和  $di/dt$  等)。

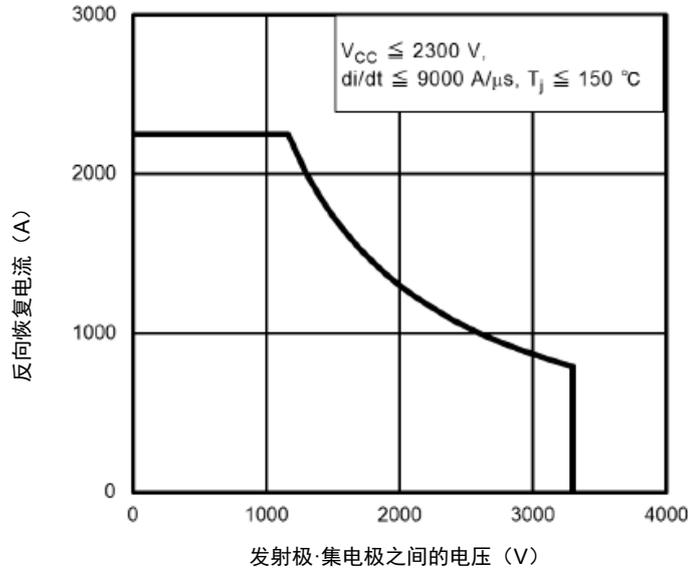


图 2.6 RRSOA 特性最大值 (保证值)

2.2. 最大额定值

项目	符号	定义及内容 (保证值请参照各产品的个别技术资料)
集电极·发射极之间的电压	$V_{CES}$	表示栅极、发射极之间零偏压时 (栅极、发射极之间成短路的状态) 可以施加到集电极-发射极之间的最大电压。实际使用时产生的脉冲所带来的击穿电压比 $V_{CES}$ 值更低, 必须参照各个器件的 RBSOA 和 RRSOA 数据决定脉冲电压的许可值。
栅极·发射极之间的电压	$V_{GES}$	表示集电极、发射极之间零偏压时 (集电极、发射极之间短路的状态) 可以施加到栅极-发射极之间的最大电压。但是, 即使施加的电压小于等于 $V_{GES}$ , 长时间施加时也必须考虑 IEGT 栅极氧化膜的寿命。
集电极电流	$I_C$	表示集电极电流中许可的最大直流电流。但是, 受器件功率损耗和散热条件的限制, 必须在不超过最大接合温度 $T_j$ 的条件下使用。
	$I_{CP}$	表示集电极电流中许可的最大脉冲电流。但是, 受器件功率损耗和散热条件的限制, 必须在不超过最大接合温度 $T_j$ 的条件下使用。
	$I_F$	表示内置续流二极管中许可的最大直流电流。但是, 受器件功率损耗和散热条件的限制, 必须在不超过最大结温 $T_j$ 的条件下使用。
	$I_{FP}$	表示内置续流二极管中许可的最大脉冲电流。但是, 受器件功率损耗和散热条件的限制, 必须在不超过最大结温 $T_j$ 的条件下使用。

项目	符号	定义及内容 (保证值请参照各产品的个别技术资料)
集电极损耗功率	$P_C$	表示 1 个器件中许可的最大损耗功率。但是保证值表示的是器件外壳温度可以固定到=25℃时的理想性理论值，在实际使用时的散热条件有限的情况下，请务必降低温度后再行使用。（详细请参照散热设计的说明。）
结温	$T_j$	表示可正常工作的芯片连接部位（结点）温度的最大值。结温会对可靠性产生影响，所以必须在设计时进行考虑。详细请参照可靠性手册。
保存温度	$T_{stg}$	表示在不给器件施加任何电气性负荷的条件下进行保存和运输时的保证的温度范围。
绝缘耐压	$V_{isol}$	表示电极之间全部短路时，该电极和绝缘冷却用安装面之间许可正弦电压的最大有效值。
力矩	安装	表示用指定螺丝将器件安装到冷却用框体上时可施加给螺丝的最大力矩值。
	端子	表示用指定螺丝将外部配线连接到器件的电极端子上时的最大力矩值。

注：作为最大额定值记载的值指的是在任何情况下都不能超过的一个值。同时，即使是在最大额定值范围内使用，如果使用条件中没有留任何余量，就有可能对可靠性产生影响（器件寿命），所以请务必仔细阅读敝司的可靠性手册，根据要求寿命进行合理的降低。

### 2.3. 电气特性

项目	符号	定义及内容 (测量条件及规格值请参照各产品的个别技术资料。)	
静态特性	集电极截止电流	$I_{CES}$	表示短路连接栅极和发射极，给集电极和发射极之间施加指定电压时流经集电极的电流值。该值会随温度上升而增加，所以必要时必须作为损耗进行考虑。
	栅极漏电流	$I_{GES}$	表示短路连接集电极和发射极，给栅极和发射极之间施加指定电压时流经的栅极电流值。因为是栅极氧化膜的泄漏电流，所以温度上升引起的增加量较少。
	栅极·发射极之间的关断电压	$V_{GE(OFF)}$	表示给集电极-发射极之间施加指定电压时、集电极通指定电流时所需的栅极-发射极之间的外加电压值。当栅极-发射极之间产生超过这个值的脉冲电压时，器件有可能会被误切换到 ON 的状态，所以设计时必须对脉冲电压进行确认。
	集电极·发射极之间的饱和电压	$V_{CE(sat)}$	表示给栅极-发射极之间施加指定电压、给集电极通指定电流时，集电极-发射极之间的电压值。因为是影响器件静态损耗的重要特性，所以为保证这个值足够低，必须在小于等于 $V_{GES}$ 的条件下施加电压。
	输入电容	$C_{ies}$	表示在集电极-发射极之间处于交流性短路的状态下，给集电极-发射极之间和栅极-发射极之间施加指定电压时栅极-发射极之间的静电容值
	输出电容	$C_{oes}$	表示发射极接地后给栅极-发射极之间施加指定电压时集电极-发射极之间的静电容值
	反馈电容	$C_{res}$	表示发射极接地后给栅极-发射极之间施加指定电压时集电极-栅极之间的静电容值
	二极管正向电压	$V_F$	表示给 IEGT 集电极-发射极之间反向并列连接的续流二极管通指定的正向偏压电流时，正负极之间的电压值。这是影响器件静态损耗的一个重要特性。

项目	符号	定义及内容 (测量条件及规格值请参照各产品的个别技术资料。)	
动态特性	开通延迟时间	$t_{d(on)}$	表示开通 IEGT 时从栅极电压达到设定值 10% 时开始到集电极电流达到设定值 10% 时的时间
	上升时间	$t_r$	表示开通 IEGT 时, 从集电极电流达到设定值 10% 时开始到达到 90% 时的时间
	开通时间	$t_{on}$	表示开通 IEGT 时, 从栅极电压达到设定值 10% 时开始到集电极电流达到设定值 90% 时的时间
	关断延迟时间	$t_{d(off)}$	表示关断 IEGT 时, 从栅极电压达到设定最大值 90% 时开始到集电极电流达到设定值 90% 时的时间
	下降时间	$t_f$	表示关断 IEGT 时, 从集电极电流达到设定值 90% 时开始到达到 10% 时的时间
	关断时间	$t_{off}$	表示关断 IEGT 时, 从栅极电压达到设定值 90% 时开始到集电极电流在下降电流的接线上达到最大值 10% 时的时间
	反向恢复电流	$I_{rr}$	表示 IEGT 集电极-发射极之间反向并联连接的 FWD 的反向恢复电流的最小值
	反向恢复时间	$t_{rr}$	表示 IEGT 集电极-发射极之间反向并联连接的 FWD 的反向恢复电流以 0A 为起点, 达到最小电流值 ( $I_{rr}$ ) 后再次回到 0A 的过程中, $I_{rr}$ 的 90%-50% 接线达到 0A 的时间
	反向恢复电荷量	$Q_{rr}$	表示 IEGT 集电极-发射极之间反向并联连接的续流二极管的反向恢复电流以 0A 为起点, 达到最小电流值 ( $I_{rr}$ ) 后再次回到 0A 的过程中, 反向恢复电流达到 2% 时 FWD 的电荷量 (反向恢复电流和时间乘积的积分值)
	开通损耗	$E_{on}$	表示开通 IEGT 时, 从栅极电压达到设定值 10% 开始到集电极电压达到设定值 2% 的期间, 集电极电流和集电极电压乘积的积分值
	关断损耗	$E_{off}$	表示关断 IEGT 时, 从栅极电压达到设定最大值 90% 开始到集电极电流达到设定值 2% 的期间, 集电极电流和集电极电压乘积的积分值
	反向恢复损耗	$E_{dsw} (E_{rr})$	表示 IEGT 集电极-发射极之间反向并联连接的续流二极管的反向恢复电流以 0A 为起点, 达到最小电流值 ( $I_{rr}$ ) 后再次回到 0A 的过程中, 反向恢复电流达到 2% 的期间, 反向恢复电流和 FWD 电压乘积的积分值
栅极充电电荷量	$Q_g$	表示为开通 IEGT 而必须向栅极供应的充电电荷量。(关断时也需要相同的放电量)	
热阻	$R_{th(j-c)}$	表示 IEGT 或 FWD 的等价电路上 1 个器件中结点-外壳之间的饱和热阻值	
热敏电阻	热敏电阻	$R_{therm}$	表示指定温度条件下的热敏电阻值
	B 常数	B	这是热敏电阻值的温度特性, 表示在任意 2 点温度条件下阻抗变化的常数

### 3. 使用注意事项（使用半导体产品时）

本公司积极致力于品质、可靠性的提升，但半导体产品一般情况下还是不可避免的会出现误工作或故障的情况。为防止使用本公司半导体产品（以下称“产品”）时，因产品的误工作和故障给您的生命、身体、财产带来损害，请客户在自行承担责任的的前提下，对客户自身的硬件·软件·系统进行必要的安全设计。此外，设计及使用时，请务必在对产品相关最新信息（本资料、规格说明、数据手册、应用指南等）及产品所使用的机器使用说明书、操作说明书等进行确认之后，再严格执行。同时，使用上述资料等中记载的产品数据、图纸、表格等中所示的技术性内容、程序、算法及其他应用电路实例等的信息时，请客户对单个产品及系统整体进行充分的评价，在客户自行承担责任的的前提下对是否适用做出判断。

#### 3.1. IEGT 器件的选择

##### (1) 额定电压

IEGT 器件的额定电压必须考虑适用装置的输入电源、稳定性及其使用电路常数。请根据使用目的的需要选择合适的器件。一般情况下稳定时，

- 峰值电压：小于等于器件额定电压( $V_{CES}$ )的 80%
- 直流电压：器件额定电压 ( $V_{CES}$ ) 的 50~60%

即使是不稳定时也建议在小于等于器件额定电压 ( $V_{CES}$ ) 90%的条件下使用。变换器应用时器件额定电压和电源电压（输入 AC 电线电压）的关系可以整理成如下公式。

器件额定电压( $V_{CES}$ ) = [输入电压] + [脉冲电压] + [电压变动量] + [余量]

- 输入电压：交流电时需乘以 $\sqrt{2}$
- 脉冲电压：因电路电感而上浮的最大值
- 电压变动量：因功率再生带来的电压上升量
- 余量：安全系数部分

##### (2) 额定电流

当 IEGT 的集电极电流变大时  $V_{CE(sat)}$  就会升高，产生的静态损耗就会变大。与此同时开关损耗也会增大，器件发热情况会越来越严重。

必须 IEGT、FWD 结温 ( $T_j$ ) 小于等于最大结温  $T_j(\max)$  下，使用 IEGT 器件。这个选择一旦出错就有可能导致器件损坏或长期可靠性降低等情况，所以必须引起注意。

逆变器应用时多半会设定过负载情况，所以一般情况下可以满足以下要求，来避免出现问题。

- 稳定时：小于等于器件额定电流的 50~60%
- 不稳定时（最大时）：在器件额定电流内（且结温也小于等于最大结温）

此外，器件规格中 1ms 额定电流 ( $I_{cp}$ ) 是包含续流二极管反向恢复时的恢复电流在内的峰值及对各种保护工作等的事进行设想时的预估值，这一点请务必引起注意。（如前所述不能在有可能超过最大结温的条件下反复使用。）

一般的逆变器应用时的电流选择可以通过以下公式进行考虑。

峰值电流( $I_p$ ) = [变换器容量] × [过负荷率] / [交流电压] /  $\sqrt{3} \times \sqrt{2} \times$  [电流波动率]  
 器件额定电流( $I_c$ ) =  $I_p$  / 降额率

- 逆变器容量：输出功率 (W) ÷ 效率
- 交流电压：有效值

但是关于额定电流的选择，因为取决于装置的运行条件及散热条件，所以请在对该装置中产生的损耗及温度上升情况进行确认之后，再选择额定电流。

### 3.2. 静电对策及栅极保护

IEGT 器件  $V_{GE}$  的保证值一般情况下为最大  $\pm 20V$ （保证值在技术资料中有记载，请确认。）将超过  $V_{GES}$  保证值的电压施加到 IEGT 的 G-E 之间时，IEGT 的栅极有可能会出现问题。所以请务必注意不要给 G-E 之间施加超过保证值的电压，对其进行保护。

同时，IEGT 的栅极必须注意静电等，使用时请务必遵守以下注意事项。

- (1) 拿取模块时，请在使用静电环等对人体和衣服上所带的静电进行放电处理后，站在经过接地处理的导电垫子上进行工作。
- (2) 使用 IEGT 器件时，请直接拿取包装主体使用，请勿直接接触电极端子（特别是控制电极端子）部位。
- (3) 给 IEGT 电极端子连接、固定配线材料（母线板、电线、等）时，要求和（1）相同，为防止静电附着到 IEGT 上，请注意保证使用材料不带电。
- (4) IEGT 器件需在利用铜线、铜箔、IC 泡沫等导电性材料对 G-E 之间实施静电对策后再进行出货。请在产品即将进行电气性配线之前将这个导电性材料拆卸下来。

同时，在栅极-发射极之间处于断开的状态下给集电极-发射极之间施加电压时，IEGT 有可能发生损坏。这是因为随着集电极电位的变化，如图 3.1 所示会有电流 ( $i$ ) 流过导致栅极电位上升，IEGT 开通，有集电极电流流过造成的。

产品组装到装置上时，在栅极电路故障或栅极电路无法正常工作的状态下（栅极开通的状态下），给主电路施加电压时，有可能因上述原因造成 IEGT 损坏的情况。为防止出现这种损坏，在栅极电路电源未通电的状态下，如果无法确认栅极-发射极之间出现了短路、栅极电路电源通电（栅极-发射极之间负偏压），则建议附加保护电路等防止主电路施加电压。

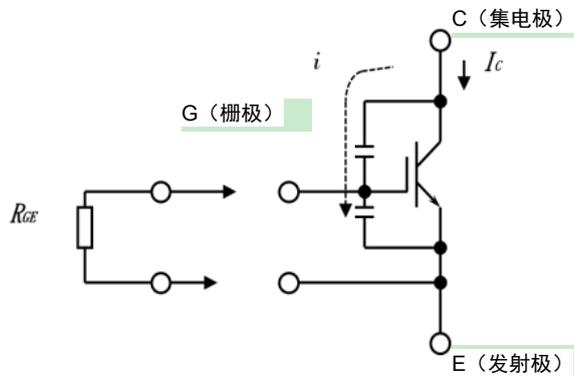


图 3.1 G-E 之间开通状态 IEGT 的工作

### 3.3. 保护电路的设计

IEGT 器件有可能因过电流·过电压等异常现象导致损坏。为保护这些器件，有时需要附加缓冲电路等保护电路。必须在对器件特性及电路工作有充分的理解之后，设计与器件特性相符的保护电路，这一点至关重要。如果两者不匹配，即使施加了保护电路也有可能收效甚微，得不到想要的结果。举例来说，就有可能出现过电流保护时的关断时间过长，脱离 SOA 后损坏，因缓冲电路电容量小而产生过大的尖峰电压等情况。这些过电流·过电压保护方法详细将在第 4 章“保护电路的设计方法”中进行详细的说明，请对应参照。

### 3.4. 散热设计

IEGT 器件对许可的最大接合部位温度  $T_j(\max)$  是有规定的，必须进行必要的散热设计使其保持在该温度范围以下。进行散热设计时，请务必对 IEGT 器件适用的应用程序工作进行充分的考虑。如果散热设计不充分，实际运行过程中就有可能发生因超过器件许可温度而造成损坏的问题。

为进行散热设计，首先应计算器件中产生的损耗，以该损耗为基础选择可以使器件保持在许可温度以下的散热片。这一点将在第 5 章“热设计和散热片中的安装”中进行详细的说明，请对应参照。

### 3.5. 驱动电路的设计

为使器件充分发挥其性能，很重要的一点就是设计驱动电路。同时，和保护电路的设计也有着十分密切的关系。

驱动电路包括开通器件用的正向偏压电路和使器件稳定保持关断状态、且进行正确关断用的逆向偏压电路，器件的特性会分别根据这些条件的设定发生变动。同时，根据驱动电路位置、配线方法等的不同，还会出现器件误工作的问题。

设计最佳驱动电路是非常重要的，这一点将在第 6 章“栅极驱动电路设计”中进行详细的说明，请对应参照。

### 3.6. 并联连接

出于对大容量变换器、大电流等进行控制的需要，有时会并联连接器件后再行使用。

并联连接器件时，必须保证给各个并联连接的器件通均匀的电流，这一点至关重要。并联连接时的电流平衡会随器件特性和配线方法等发生变化，所以必须进行设计、管理，例如根据器件的  $V_{CE(sat)}$  对主电路进行均等配线等。关于这一点，将在第 7 章“并联连接”中对详细注意事项等进行说明，请对应参照。

### 3.7. 实际安装时的注意事项

实际安装 IEGT 器件时，请特别注意以下事项。

#### 塑料模块式器件

- (1) 安装到散热片上时，请在塑封模块反面涂抹导热硅脂后，按照规程规定的拧紧力矩进行充分的紧固。同时，位于螺丝安装位置之间的散热片的平整度，100mm 间隔时应控制在 50 $\mu$ m 以下，表面粗糙度控制在 10 $\mu$ m 以下。使用平面度较差（特别是凸状时）的散热片，或导热硅脂厚度不均匀时，不仅会造成冷却不均匀，最糟糕的情况下还会引起绝缘损坏，引发重大事故。
- (2) 配线时请勿给塑封模块电极端子部位施加过大的应力。最糟糕的情况下，有可能引起塑封模块内部焊接电气配线等出现断线的异常。详细说明请参照第 5 章。

#### 压接式器件

- (1) 压接式器件中，因为是通过给主电极之间施加压力来实现连接接触的，所以这个压接状态（压接力、面内压接力大小的均匀性）至关重要。同时，请在给器件电极面和散热片之间涂抹导电性的导热硅脂后再施加规定的压力。
- (2) 因施加给器件的负荷造成温度变化时，器件自身会发生膨胀，压力会变大。为了在这种状态下也能保持压接力一致，请同时使用蝶形弹簧。详细说明请参照第 5 章。

### 3.8. 储存与搬运相关注意事项

#### 储存

- (1) 关于储存放置半导体器件的场所，建议温度控制在 5~35 $^{\circ}$ C，湿度控制在 45~75%。
- (2) 请避开会产生腐蚀性气体的场所和灰尘较多的场所。器件纳入时的包装箱主要是瓦楞纸材质，所以不适合长期储存。（虽然量比较小但有可能产生硫化气体。）如需进行长期储存，请讨论适合储存用的其他包装。
- (3) 在温度会发生急剧变化的场所，半导体器件表面有可能会形成结露。储存时请避开此类环境，尽可能储存在温度变化较小的场所。
- (4) 储存状态下，请勿给半导体器件施加外力或荷重。特别是堆积状态下有时可能会承受意想不到的荷重。
- (5) 作为临时放置半导体器件的容器，请选择不容易带静电的产品。

#### 搬运

- (1) 很多器件其额定·结构重量较大。请注意防止因器件跌落造成人员受伤。
- (2) 搬运产品时请注意防止给产品带来冲击，防止产品跌落。
- (3) 将多个半导体器件放入箱子里搬运时，为防止损伤接触电极面等，请在器件和器件之间放入柔软的垫片。

### 3.9. 可靠性相关注意事项（寿命设计）

一般情况下包括逆变器在内的功率转换装置运行时，组装到装置中的 IEGT 器件会反复出现温度上升和下降的情况。受温度变化的影响，IEGT 器件会产生热应力，所以根据运行条件的不同，产品寿命也会有所差异。正因为如此，设计时的设计寿命必须要长于装置要求的寿命。

为进行这样的寿命设计，一般情况下需要对 IEGT 器件的温度变化进行确认，根据热疲劳承受能力进行寿命设计。未对寿命设计进行充分的考虑时，其寿命就会短于要求寿命，有可能出现可靠性得不到保证等问题。所以根据可靠性要求进行寿命设计是非常重要的。这一点将在第 8 章“可靠性相关信息”中进行详细说明，请对应参照。

### 3.10. 其他实际运用相关注意事项

- (1) 请在模块的端子部位对驱动电压 ( $V_{GE}$ ) 进行测量，并确认施加了规定的电压（在驱动电路侧测量时，因为电压有可能受到驱动电路终端中使用的晶体管等的电压降的影响，所以即使没有给 IEGT 施加规定的  $V_{GE}$  也有可能无法发现其异常，最终有可能导致器件损坏）。
- (2) 关于开通·关断时的脉冲电压等的测量，请在产品的主端子部位进行。如果规格说明对测量端子单独有记载，请在该端子部位进行测量。
- (3) 请在最大额定（电压、电流、温度等）的范围内使用产品。超过最大额定值使用时，有可能造成产品损坏。特别是当施加的电压超过  $V_{CES}$  时，有可能造成雪崩现象而使器件损坏。 $V_{GE}$  请务必在最大额定值的范围内使用。
- (4) 考虑到有可能因不慎发生事故造成器件损坏的情况，请在主电路电容和半导体器件之间设置容量合理的保险丝或故障检测电路，防止二次损坏。
- (5) 请在对产品使用环境进行充分把握、对产品可靠性寿命是否可以满足进行讨论之后再行使用。超过产品可靠性寿命的范围使用时，器件有可能在装置目标寿命之前出现损坏。
- (6) 请在热疲劳寿命范围内使用本产品。热疲劳寿命大致可以分为 2 类，分别是功率循环承受能力和 TFT 承受能力，前者依据的是  $\Delta T_j$ ，后者依据的是  $\Delta T_c$ 。塑料模块式器件必须对两者都进行考虑，而压接式器件则只需考虑后者。这些都取决于使用本产品时的散热设计。不仅要充分注意结温的上升下降，还需注意外壳温度的上升下降。
- (7) 使用时请避开会产生酸·有机物·腐蚀性气体（硫化碳、亚硫酸气体等）的场所。在含有酸·有机物·腐蚀性气体（硫化碳、亚硫酸气体等）的环境中使用，请恕我们无法对产品功能·外观等做出保证。
- (8) 将产品实际安装到装置中时，请勿给主端子及控制电极端子施加过大的应力。有可能因电极端子变形造成接触不良和电极端子结构损坏等异常。
- (9) 关于塑封模块产品中使用的端子螺丝的长度，请根据外形图进行正确的选择。如果螺丝较长，有可能会损坏外壳。
- (10) 使用 FWD、不使用 IEGT 时（例如适用到斩波电路等中时），请给不使用的 IEGT 的 G-E 之间施加 -5V 以上（推荐 -15V，最大 -20V）的反向偏压。反向偏压不足时，IEGT 会因 FWD 反向恢复时的  $dv/dt$  产生击穿电压，从而导致被击穿而损坏。
- (11) 开通  $dv/dt$  较高时，对向桥臂的 IEGT 有可能产生击穿电压。为防止击穿电压的产生，请在最佳驱动条件（ $+V_{GE}, -V_{GE}, R_G, C_{GE}$ ）下使用。
- (12) 在过高温条件下焊接产品时，有可能造成封装受损。焊接过程中请小心使用。
- (13) 位于螺丝安装位置之间的散热片的平整度，100mm 间隔时应控制在  $50\mu\text{m}$  以下，表面粗糙度控制在  $10\mu\text{m}$  以下。如果凸出翘曲过大，有可能造成绝缘损坏，引发重大事故。同时，如果存在过大的凹陷翘曲和变形等，产品和冷却板之间就会产生空隙，散热性能就会变差，最终引发热损坏。
- (14) 给控制端子施加过大的静电时，有可能使器件损坏。使用时请务必采取静电对策。
- (15) 将器件安装到冷却板上时，请使用导热硅脂等确保热传导性能。同时，因为当涂抹量不足时，或涂抹方法不恰当时，有可能导致可靠性降低，所以涂抹导热硅脂时请确认导热硅脂在产品表面的扩散情况。（实际安装后只需拆卸器件即可对导热硅脂的扩散异常进行确认。）
- (16) 规格说明中记载的外置阻抗  $R_G$  是为将开关损耗控制在最小范围内的推荐阻抗，但根据使用的电路结构及使用环境的不同，最佳  $R_G$  也会发生变化。因此决定外置阻抗  $R_G$  时，在使用 IEGT 器件的电路结构及使用环境中，必须在对 EMC/EMI、尖峰电压、脉冲电流及无法预料的振动等特性进行充分的讨论后作出选择，防止偏离规格说明中记载的内容，这一点请务必引起注意。
- (17) 本节中对实际使用过程中的主要注意事项进行了记载，详细请务必遵守各个产品规格说明中单独记载的注意事项、警告内容。

## 4. 保护电路的设计方法

### 4.1. 脉冲电压的保护

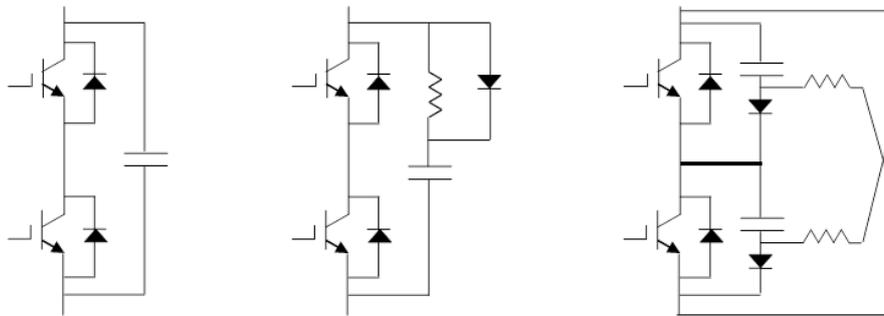
因为 IEGT 的开关时间非常短，仅为几  $\mu\text{s}$ ，所以将在高速开关领域中发挥巨大的作用。但是，为保证该高速开关的特性，如果不在电路方面下功夫，杂散电感  $L_s$  产生的脉冲电压就会施加给 IEGT。其大小  $V_{\text{surge}}$  计算公式如下，

$$V_{\text{surge}} = -L_s \times di/dt + V_{\text{cc}}$$

为保证该值远远小于数据手册中记载的主端子间最大额定电压，请进行主电路设计。虽然减小  $V_{\text{surge}}$  的方法就是降低  $di/dt$  和漏电感，但减小  $di/dt$  和 IEGT 的高速开关特性是冲突的，所以只能选择降低杂散电感。例如用贴合的铜板代替电线，即可大幅降低漏电感。为降低产生的脉冲电压，放入缓冲电路是非常有效的一种方法。

缓冲电路的实例

图 4.1 表示的是缓冲电路实例。虽然缓冲电路可有效吸收脉冲电压，但根据 IEGT 开关特性、主电路配线构成等的不同，脉冲电压也会有所变化，所以必须在充分理解缓冲电路特性之后选择电路构成，通过试验性方式决定常数。



(a) PN 间缓冲电路      (b) PN 间 RDC 缓冲电路      (c) 个别钳位式缓冲电

图 4.1 缓冲电路实例

接下来将就 (c) 个别钳位式缓冲电路进行简单的说明。图 4.2 表示的是个别钳位式缓冲电路和此时的关断波形实例。 $\Delta V_1$  表示的是因缓冲电路的电感  $L_2$  而无法被吸收的电压（脉冲电压）。也就是说，是关断时的  $di/dt \times L_2$  产生的关断电压。

$C_s$  将通过以下公式设定。

$$1/2 \times L_1 \times (I_c)^2 = 1/2 \times C_s \times (\Delta V_2)^2$$

在这里， $L_1$  是主配线的电感， $L_2$  是缓冲电路的电感， $R_s$  是缓冲阻抗， $D_s$  是缓冲二极管。

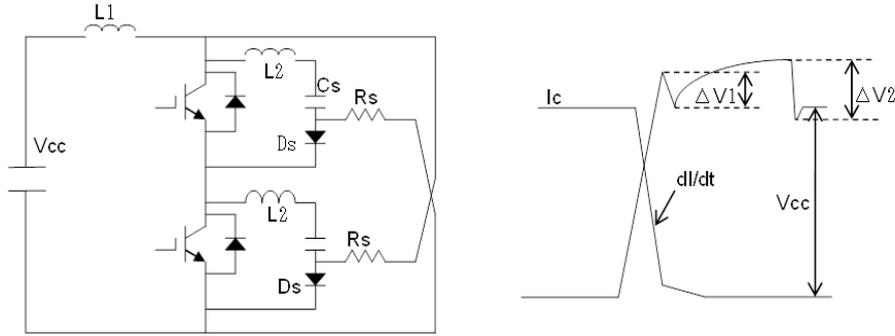


图 4.2 个别钳位式缓冲电路和关断波形实例

并联连接时，建议给各塑封模块分别配备缓冲电路。通过并联方式实现容量扩大的过程中，给各个器件分别连接缓冲电路比连接统一缓冲电路更能降低缓冲配线电感 L2，对脉冲电压的抑制效果也更好。当 PN 间产生过大的脉冲电压时，就必须在 PN 间连接电容。特别是大容量器件中，有时会在图 4.1 中所示的 (a) PN 之间同时使用电容和 (c) 个别缓冲电路。

## 4.2. 短路保护

### 关于短路承受能力

IEGT 进入短路状态时，IEGT 的集电极电流会增加，一旦超过规定的值，集电极-发射极之间的电压就会急剧增大。出于该特性考虑，短路时的集电极电流将被控制在一定的值以下，但 IEGT 会被施加高电压·大电流，所以必须在尽可能短的时间内去除这种高电压、大电流的状态。

但是，IEGT 出现短路状况后关断电流所需的时间是有限的。这被称为短路承受能力，如图 4.3 所示，对从开始通短路电流到损坏的时间进行了规定。所以发生短路时必须在规定的短路承受能力范围内关断电流。短路承受能力取决于集电极-发射极之间的电压  $V_{CE}$  和栅极-发射极之间的电压  $V_{GE}$ 、结温  $T_j$  等条件。

一般来说，短路承受能力会随电源电压  $V_{cc}$  的升高或结温的升高而降低。此外，关于各器件的短路承受能力，请确认工程技术数据。

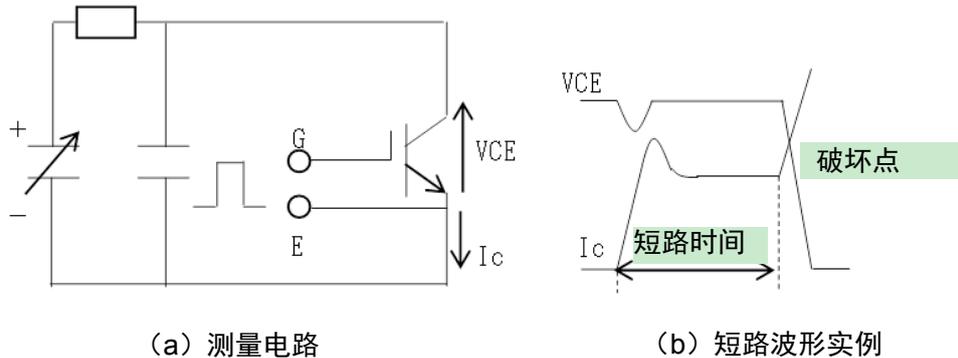


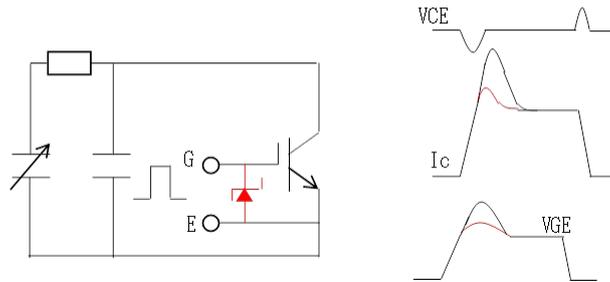
图 4.3 测量电路图和波形实例

短路保护过电流检测应通过 CT(Current Trance)和 CE 之间的电压等进行，过电流检测完成后应立即关断。只有通过电流检测才能进行短路保护，但根据使用状况的不同，有可能出现 (1) 短路开通时脉冲电流大、(2) 短路关断时脉冲电压大的情况，请务必引起注意。

(1) 短路导通时脉冲电流的抑制方法实例(图 4.4)

栅极·发射极之间的电压上升时，短路导通时的脉冲电流就会增大，最终有可能导致器件损坏。为抑制脉冲电流就必须控制栅极电压的上升，一般方法是在栅极·发射极之间插入（16~17V）稳压二极管。插入稳压二极管可有效抑制栅极·发射极之间电压的上升，抑制脉冲电流。但是，如果稳压二极管的电压过低，通常开通/关断时的栅极电压就会不足，开通损耗/关断损耗就有可能增大。相反，如果稳压二极管的电压过高，栅极电压抑制效果就会降低，请在确认波形的同时选择合适的稳压二极管的电压。

红色：插入稳压二极管时的实例  
 黑色：未插入稳压二极管时的实例



(a)插入稳压二极管时的电路图实例 (b)插入稳压二极管时的短路波形实例

图 4.4 插入稳压二极管时的电路图和波形实例

(2) 短路关断时的脉冲电压

如果电路的主配线较长，短路关断时的脉冲电压就会变大，最终可能导致器件损坏。作为抑制脉冲电压的方法，一般情况下可以采取软关断的方法（图 4.5，必须要有其他电路），这种方法是进行过电流检测或在驱动电路中进行  $V_{CE(sat)}$  异常检测后加大栅极阻抗的方法，和利用抑制栅极输出电压的方法进行软关断的方法。但是，所有工作模式下的开通过程中，都必须注意防止误检测，请在确认波形的同时选择合适的短路保护电路。

黑色：不进行软关断时  
 红色：进行过电流检测，加大栅极阻抗，进行软关断时

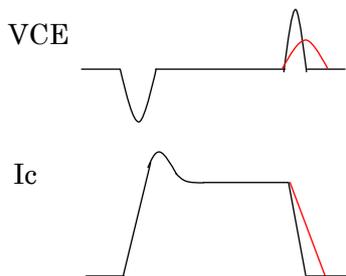


图 4.5 用栅极阻抗进行软关断时的短路波形实例

## 5. 热设计和在散热片上的安装

### 5.1. 散热理论

#### 5.1.1. 热等价回路

用电流替换热量的移动，即可用电气回路表示热量传递到外部的路径。IEGT 结点部位向外部的热传导就是通过该回路进行的，由热阻和热容量决定。

图 5.1 是热稳定状态下的散热等价回路。

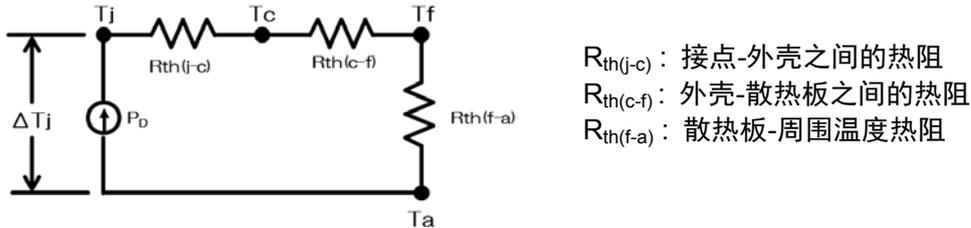


图 5.1 散热等价回路

结点到外部空气的全热阻  $R_{th(j-a)}$  可以通过图 5.1 的等价回路用公式 (2) 计算得到。

$$R_{th(j-a)} = R_{th(j-c)} + R_{th(c-f)} + R_{th(f-a)} \dots\dots\dots(2)$$

假设器件中产生的损耗为  $P_D$ ，接合温度  $T_j$  可以用公式 (3) 计算得到

$$T_j = \Delta T_j + T_a = P_D \times R_{th(j-a)} + T_a \dots\dots\dots(3)$$

请在公式 (3) 所示的  $T_j$  在任何时候不超过数据手册中记载的绝对最大额定  $T_{jmax}$  的情况下对散热板进行散热设计。

#### 5.1.2. 损耗计算

器件中产生的损耗可以用公式 (4) 进行表示。

$$P_D = PST(IEGT) + POFF + PON + PST(FWD) + PDSW \dots\dots\dots(4)$$

- PST(IEGT): IEGT 的导通损耗
- POFF: IEGT 的关断损耗
- PON: IEGT 的开通损耗
- PST(FWD): 二极管部位的导通损耗
- PDSW: 二极管的反向恢复损耗

PST(IEGT) 可以通过  $I_c-V_{CE}$  曲线进行计算，PST(FWD) 可以通过  $I_F-V_F$  曲线进行计算。应在与用途一致的电路、驱动条件下分别对 POFF、PON、PDSW 进行测量，并将其用于计算。数据手册中记载了代表性驱动条件下的开关损耗曲线。为保证在任何情况下  $T_j$  都不超过  $T_{jmax}$ ，进行散热设计时请预留余量，以充分应对产生的损耗。

5.1.3. 结温的脉冲响应

一般情况功率半导体的热阻将通过图 5.2 所示的分布常数电路进行配置。

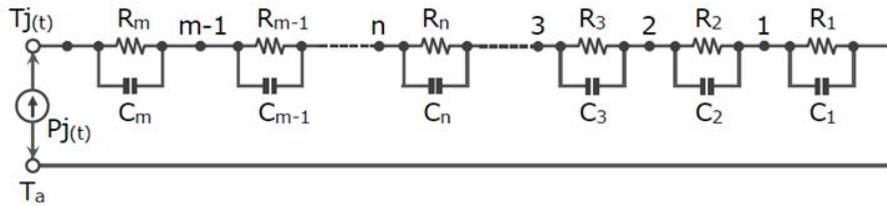


图 5.2 功率半导体的热阻

普通功率半导体中当  $n=4$  左右时，可以基本得到和实际值相近的值，但如果  $C$ 、 $R$  的值不明确，就很难计算  $T_j$  的值了。因此，一般情况下需使用瞬态热阻曲线推算  $T_{jmax}$ 。

首先考虑下单发脉冲。在施加单发方形波脉冲（脉冲宽度为  $T_1$ 、尖峰值为  $P_0$ ）时，获得脉冲宽度  $T_1$  的瞬态热阻  $R_{th}(T_1)$ ，然后用公式（5）计算  $T_{jmax}$ 。

$$T_{jmax} = R_{th}(T_1) \times P_0 + T_a \dots \dots \dots (5)$$

逆变器工作过程中，反复开关时损耗会成脉冲波形状产生，如图 5.3 所示结点的温度会发生变化。这种情况下，产生的损耗和一定周期的方形波相近，使用瞬态热阻曲线即可推断温度的最大值（ $T_{jmax}$ ）。

施加图 5.3 所示的周期为  $T$  的连续脉冲时，在热性能稳定状态下， $T_{jmax}$  可以通过公式（5）进行计算。功率半导体的散热设计中，必须充分注意防止公式（5）计算法得到  $T_{jmax}$  超过功率半导体的最大额定值。

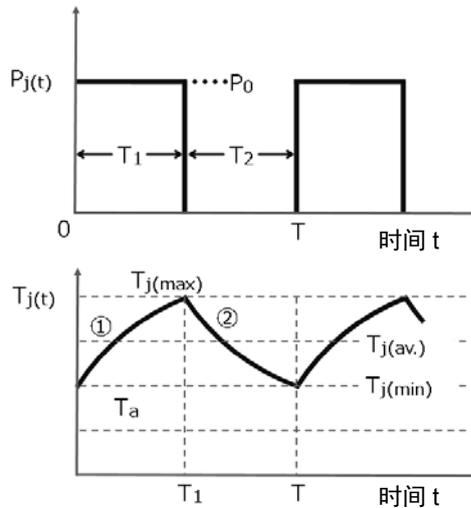


图 5.3 施加脉冲损耗时的温度变化

## 5.2. 压接式 IEGT

为了保证压接式 IEGT 可以在不给器件施加热量或机械性外力的情况下得到充分的散热效果，将器件安装到散热器上时请注意以下几点。

- 涂抹导电性硅脂

为改善器件和散热板之间的热阻，请在器件和散热板之间涂抹导电性硅脂。这种情况下，涂抹导电性硅脂时请务必保持涂层薄而均匀。适合使用不挥发性的导电性硅脂。（使用挥发性的导电硅脂时，时间一长硅脂就会出现裂纹，从而大大降低散热效果）

- 散热板的安装

为得到充分的散热效果，请将器件的电极直接固定到散热板上。这种情况下，散热板也可当做电气性连接所需的电极使用。

- 冷却系统的选择

请根据器件的发热量选择合理的冷却器。气冷式冷却器中有廉价的铝制散热器、铜片散热器等。请用绝缘体软管覆盖夹紧装置，防止其接触散热板。压力通过绝缘体传递，请注意防止治具和框体及地面发生电气性接触。弹簧应使用蝶形弹簧。蝶形弹簧在规定压力作用下饱和时，即使温度和气压发生变化，也可保持一定的压力。

在更大功率使用时，适用冷却效果更好的水冷系统。请将利用冷却液冷却的散热片设置到压接式器件的上下面，并用压接装置和螺丝推压器件使其达到规定的压力。如图 5.4 所示，除了可以作为电极使用的水冷式散热片之外，还必须要有的夹紧治具、弹簧（机械性压力的源头）、球状物（为将压力均匀传递给器件）。使用水冷式冷却系统时，为防止电极内部腐蚀、保证散热片之间的绝缘，请使用电气阻抗较大的高品质水（纯水）。同时，关于各个散热片的热阻，请咨询散热片的生产厂商。



图 5.4 压接式器件固定到水冷式散热片上的实例

### 5.2.1. 散热片的设计

压接式 IEGT 中最重要的一点的是进行均匀的压接。设计散热片时请注意以下几点。

- 散热片应满足图 5.5 所示的规格要求。
- 即使工作中的环境（温度、气压等）发生变化，总压力也应在规定值范围内。
- 器件的部分压力密度差应小于等于平均压力密度（总压力/压接面积）的 20%。

(图 5.6)

项目	散热片压接面的值
平整度	小于等于 10 $\mu$ m
粗糙度	小于等于 3 $\mu$ m
平行度	小于等于 100 $\mu$ m
硬度（维氏硬度）	100~120

图 5.5 压接式器件用 Cu 散热片的推荐规格

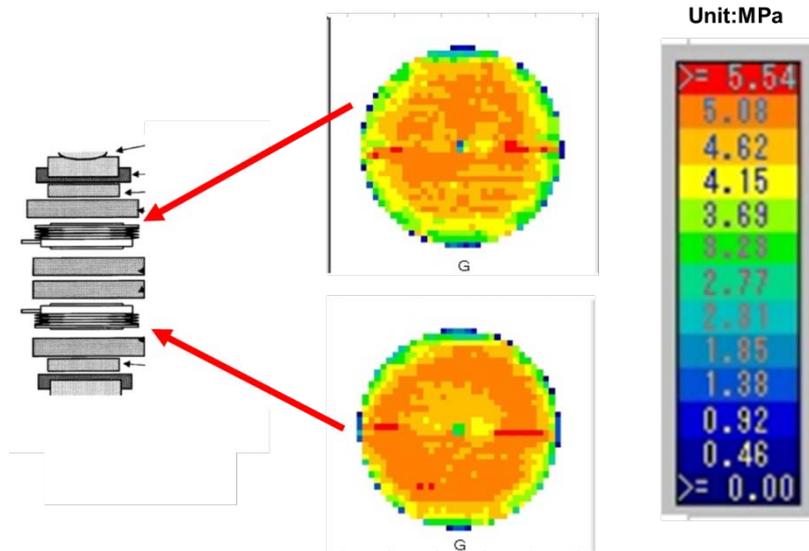


图 5.6 压力测试系统中的压力分布实例

### 5.2.2. 压接状态的确认

请确认压接状态下的各个器件被均匀的进行了压接。

方法是在压接器件和散热片之间插入压力传感器试纸等的状态下进行压接，然后施加荷重，确认器件在主电极面中的压力分布情况。请根据压接式器件给主电极面施加的压力大小，选择合适规格的压力传感器试纸（图 5.7）。

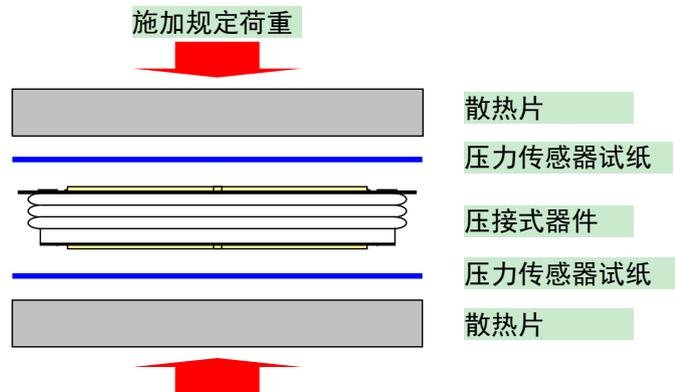


图 5.7 压力传感器薄片的使用方法

图 5.8、图 5.9 是利用富士 FILM（株）的压力测试纸（LW）进行确认的实例。图 5.8 是均匀压接实例，图 5.9 是箭头所指方向有压力缺失的偏压接实例。

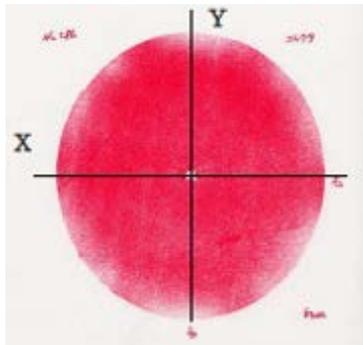


图 5.8 器件均匀压接的实例

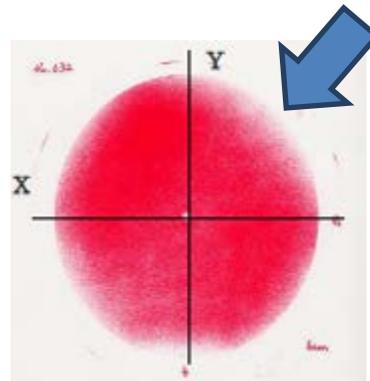


图 5.9 压力有缺失的偏压接实例（箭头）

### 5.2.3. 压接式 IEGT 允许的最大功率

压接式 IEGT 允许的最大功率是由 TFT 承受能力（注）决定的。根据施加功率的不同，TFT 承受能力也会发生变化。允许的最大功率作为 Tj 最大值的限制，在 25°C 的条件下可以进行以下计算。但是，实际使用过程中决定寿命的 TFT 承受能力依存于施加的功率，所以特别是在 PPI 中，建议采用图 5.10 中所示的最大功率。

（注）TFT 承受能力、TFT 寿命的相关说明请参照 8.4.2。

单纯最大允许功率的计算（Tc=25°C 时）：

$$(T_j \text{ 最大值} - 25^\circ\text{C}) / \text{热阻} [^\circ\text{C}/\text{W}]$$

最大施加功率（根据 TFT 承受能力的推荐值）

产品名称	IEGT 侧(W)	二极管侧(W)
ST2100GXH24A	7000	-
ST1500GXH24	5000	1500
ST1200GXH24A	5000	-
ST750GXH24	2000	750

图 5.10 最大施加功率推荐值

### 5.2.4. 压接式 IEGT 允许的最大功率和 TFT 承受能力

以电极直径为 125mmφ 的 ST1500GXH24 为例，如图 5.11 所示，可以通过降低施加功率来延长寿命。

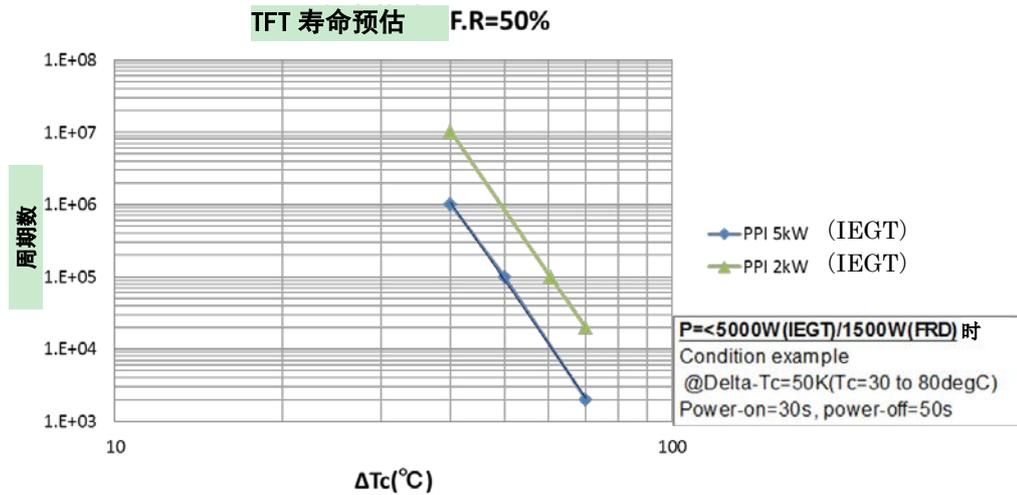


图 5.11 施加功率和 TFT 寿命

### 5.3. 塑料模块式 IEGT

#### 5.3.1. 塑料模块式 IEGT 的安装方法

请将和器件接触部分的散热片平面度控制在 100mm 间隔时 50 $\mu\text{m}$  以下，表面粗糙度控制在 10 $\mu\text{m}$  以下。为改善外壳-散热片之间的热阻，请在器件和散热片之间涂抹导热硅脂。导热硅脂具有热传导性，应选择没有挥发性、高绝缘、长寿命类型的产品，为防止塑封模块底面和散热片之间进入空气，涂抹时请保持薄而均匀（约 100 $\mu\text{m}$ ）。

涂抹导热膏后，请按照图 5.12 或图 5.13 的顺序，用数据手册中记载的规定力矩将塑封模块紧固到散热片上。拧紧度超过规定力矩以外时有可能造成损坏。

另外，长期使用后导热膏的状态会发生变化，这部分也请务必引起注意。

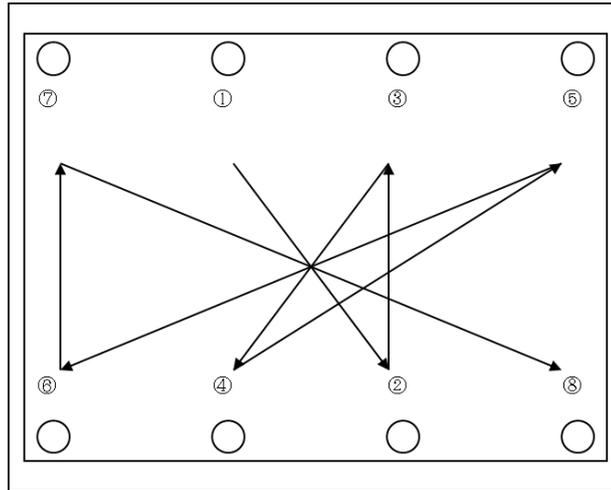


图 5.12 塑料模块式 IEGT 的紧固顺序（190mmx140mm 规格）

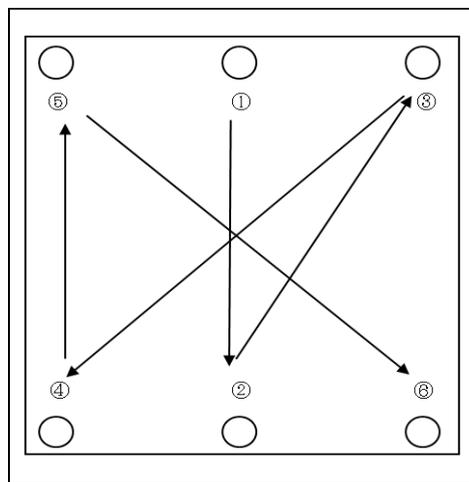


图 5.13 塑料模块式 IEGT 的紧固顺序（130mmx140mm 规格）

## 6. 栅极驱动电路的设计

栅极驱动电路是使用驱动 IC、光耦合器、混合动力 IC 等，根据应用用途的不同分别进行设计的。以下是设计时的重点。

### 栅极电压

设计栅极驱动时，栅极正向偏压的推荐值为+15V，栅极反向偏压的推荐值为-15V。正向偏压、反向偏压的电源电压变动请控制在±10%以内。

### 栅极阻抗

为调整开通时的  $di/dt$ ，同时降低关断时的脉冲电压，请在设备实际工作中进行验证，将栅极阻抗的阻抗值调整到最合理状态。因为栅极阻抗变小开关损耗就会变小，栅极阻抗变大开关损耗也会随之增加，所以请务必选择合适的栅极阻抗值。

### 死区时间

用 IEGT 构成逆变器电路时，为防止上下桥臂直通短路，应设置死区时间。死区时间指的是栅极驱动向上下桥臂输出关断信号的时间。为防止误导通，请在实际设备电路中经过验证值，选择合理的死区时间。

### 栅极配线

为防止因电磁噪音等造成误触发，栅极驱动到器件之间的配线应尽可能短。栅极配线中可以通过使用同轴电缆、多股电线（双绞线）等的对策减小外部噪音的影响。当施加给 IEGT 的栅极电压超过数据手册中记载的栅极绝对最大额定值（20V）时，请使用稳压二极管等进行合理的保护。

Power Integration、InPower、Amantys 等生产厂商将销售本公司 IEGT 用的栅极驱动。表 6.1 是 IEGT 和驱动电路的组合实例。

驱动生产商 产品名称	Power Integration	InPower	Amantys
ST1500GXH24	ISO51251-45	1IPSE1A45-105H	-
MG1500FXF1US62	1SP0635	1IPSE1A33-60-100	AN33AA1
MG900GXH1US53	1SD312F2		
MG1200FXF1US53	1SD536F2		
MG800FXF1US53	2SC0535T-33		

表 6.1 IEGT 和各家公司驱动的对对应表

## 7. 并联连接

IEGT 是电压驱动的，所以只需给并联连接的各个 IEGT 施加驱动电压即可，并联连接相对比较简单。但是，高速控制大功率时，必须考虑器件选择和特性差异。

并联使用 IEGT 塑封模块时，并联连接 IEGT 时必须保证包括过渡时间在内都不会产生电流集中现象，并在所有负载条件下都必须给各个器件通平衡且均匀的电流。

并联连接时，关于导通时的动作差异和开关时的动作差异，两者产生的原因是不同的。这里将分别对导通时和开关时的波动原因进行说明。

### 导通时

导通时，并联连接的塑封模块之间的通态电压差异是造成不平衡的原因。因为稳定时模块之间的通态电压需保持均等的条件下给各器件分担电流，所以  $V_{ce(sat)}$  较低的器件中电流会较大。同时，如果配线不均等，配线阻抗成分较大的器件其电流就会较小，阻抗成分较小的器件流过的电流就会较大。为防止出现这种情况，设计时请尽可能的将器件的  $V_{ce(sat)}$  差异控制在最小范围内，同时保证器件间的配线尽可能的保持均等。

### 开关时

一般情况下，器件开通和关断的过渡期间，电流产生不平衡现象会比较严重。这是由器件间的开关时间差异引起的。这个开关时间的差异很大程度上取决于栅极·发射极之间的阈值电压  $V_{GE(off)}$ 。也就是说， $V_{GE(off)}$  越小开通越快， $V_{GE(off)}$  越大开通越慢。因此，开通和关断时电流都会集中到  $V_{GE(off)}$  较小的器件上，就会产生电流的不平衡。这个电流不平衡会给器件带来过大的损耗，有可能导致器件损坏。

$V_{ce(sat)}$  的差异也是造成开关时的差异的原因。 $V_{ce(sat)}$  较低的器件在导通时流过的电流较大，所以关断时所需的时间也较长，容易造成电流集中。因此，考虑到过渡时开关时间的差异，对于想要并联连接的 IEGT，其  $V_{ce(sat)}$  和  $V_{GE(off)}$  建议应尽可能保持一致。

除器件的特性之外，关于主电路配线和栅极配线的差异、位置关系也是造成开关时不平衡的原因之一。开关过程中，如果栅极电流在器件间产生了差异，不仅栅极与发射极之间会产生振动，发射极集电极之间也会产生振动，有可能导致器件损坏。驱动设置在远离栅极时，可以将发射极配线和栅极配线缠绕到一起，以降低振动噪音的影响。

同时，主电路的杂散电感和关断时的脉冲电压是成比例的。如果杂散电感较大，器件关断时就有可能被施加超过承受能力的电压，就有可能导致器件被击穿。而当器件间的主电路电感不同时，电流、电压就会集中到其中一个器件上，就会造成器件击穿。因此，配线时请尽可能将主电路电感控制在较小范围内，同时保持器件之间的均等。

## 8. 可靠性相关信息

### 8.1. 概要

从工业生产开始，企业为了提高产品的可靠性，一直通过从作为产品品质耐用性、寿命、安全性、服务性等各种形式来提升可靠性。但是对可靠性进行系统化管理是始于 20 世纪 50 年代，随着机器的高级化和复杂化、化学厂房和功率系统的系统化发展，故障所带来的社会性影响和损害越来越大，可靠性作为一种重要的品质特性也越来越受到关注。因此，人们开始从可靠性这一抽象概念中寻找更加定量性的表达，谋求实际系统和产品的可靠性并对其进行改善、管理的动向也越来越明显。JIS 中将“可靠度”定义为“器件、产品、系统等按照指定的条件在规定的期间内执行要求功能的概率”，由此实现了可靠性的定量化表达。这里主要涉及了功率器件可靠性的相关内容。另外，可靠性的理念、详细内容请点击东芝半导体&存储产品可靠性信息主页进行确认。

<<http://toshiba.semicon-storage.com/jp/design-support/reliability/device.html>>

### 8.2. 功率器件的可靠性

一般情况下，功率器件的故障率可以用图 8.1 所示的像浴盆一样的失效曲线来进行表示。可以分为器件开始适用时的初期故障期、之后的偶发故障期·损耗故障期三个阶段。选择功率器件时，必须考虑适的应用程序及故障率曲线的特性。接下来将对各故障期进行详细的说明。

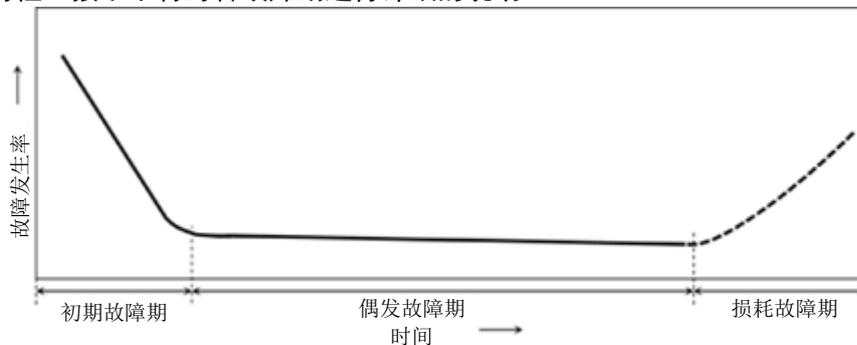


图 8.1 半导体产品故障率的时间经过(失效曲线)

#### 初期故障期

初期故障是由 IEGT 和 FWD 等芯片内存在的细微缺陷、绝缘基板缺陷、或信号线连接线接触错误等引起的。敝司对过去的品质异常事例进行了积累，通过将这些异常事例反馈到功率芯片、模块结构、组装工程等的设计中来展开各项活动，积极致力于品质的不断提升，努力减少初期不良品。但是要在设计阶段完全排除初期不良是非常困难的，为弥补这一不足敝司将进行出货试验。出货试验中是通过筛选·老化试验来努力降低初期故障率的。

#### 偶发故障期

故障率曲线中的偶发故障期是除去初期故障品之后，单个器件的故障率基本维持一定水平的一个阶段。也就是说，这个期间是由功率器件适用应用程序的工作条件造成器件故障率发生变化的。具体来说，就是根据功率器件和其他部件等构成的系统整体的使用条件和环境的不同，故障率会发生变化，相当于是这个系统固有的可靠性。即为了降低这个期间的故障率，在系统最差的运行条件下，必须注意防止各种特性（过电压、过电流、过热等），超过器件的绝对最大额定值，这些运行条件必须在低于（一般情况下电压小于等于额定的 50-60%，接合温度小于等于最大额定值的 70-80%）规格说明中记载的绝对最大额定值的条件下使用，同时必须保证和器件的适用电路·使用环境条件等完全匹配，是至关重要的。

## 损耗故障期

故障率曲线的损耗故障期指的是因产品使用寿命造成故障的故障期。必须在到达这期间之前进行与产品寿命息息相关的系统设计。东芝将在设计阶段对以下所示的长期可靠性试验进行验证并对品质进行确认。特别是关于功率器件的热疲劳损坏模式，如第 8 节所示将分别通过功率循环及 TFT (Thermal Fatigue Test) 的 2 种损坏模式进行寿命确认。关于产品寿命设计，除了适用热疲劳破坏模式之外，请在和适用系统工作模式相符的热疲劳破坏承受能力范围内进行设计。

### 8.3. 具有代表性的可靠性试验

图 8.2 表示的是具有代表性的可靠性试验的内容。

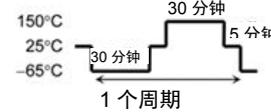
分类	PMI	PPI	试验项目	内容及试验条件	依据标准			
					EIAJED-4701	MIL-STD-883	IEC 60749	JESD 22
热破坏试验	○	○	温度循环试验	对器件长时间在高温高湿环境下放置时的耐用性进行评价。 通常试验条件: Ta=60℃, RH=90%  1 个周期	105	1010.7	Part 25	A104-B
机械性试验	○		冲击试验	对运输或使用过程中所受冲击的承受能力进行评价。通常试验条件: 根据结构的不同, 试验条件也会有所差异, 但如果是树脂成型产品, 则冲击加速度为 15,000/s <sup>2</sup> 4 个方向各 3 次	404	2002.3	Part10	B104-C
	○	○	振动试验	对运输或使用过程中所受振动的承受能力进行评价。试验分可变频率振动和固定频率振动两种, 一般进行可变频率振动。 通常试验条件: 固定频率振动: 60±20Hz, 200m/s <sup>2</sup> 3 个方向各 96±8 小时 可变频率振动: 100~2000Hz 200m/s <sup>2</sup> 3 个方向、各 4 次-往返 4 分钟	403	2007.2	Part12	B103-B
	○		端子强度拉伸试验	对端子部分的强度是否满足安装配线或使用过程中被施加的力度进行评价。 通常试验条件: 在导线的顶端悬挂规定重量, 90°折弯后恢复。在和导线平行的方向上施加拉伸加重。根据结构的不同规定重量也会有所差异。	401	2004.5	Part14	B105-C
寿命试验	○	○	高温保存试验	对器件长时间在高温环境下放置时的耐用性进行评价。 通常试验条件: Ta=Tstg.Max	201	1008.2	Part6	A103-C
	○	○	高温工作试验	长时间给器件施加电气性应力(电压、电流)及热应力, 对其耐用性进行评价。 通常试验条件: Ta=125℃ 电源电压=Operation Max	101	1005.8	Part23	A108B
	○	○	低温保存试验	对器件长时间在低温环境下放置时的耐用性进行评价。 通常试验条件: ta=Tstg.Min	202	—	—	—
	○		高温偏压试验(栅极)	长时间给器件施加电气性应力、热应力, 对其耐用性进行评价。	102	—	Part5	A101-B
	○		高温偏压试验(集电极)	通常试验条件: Ta=85℃ 电源电压=Operation Max				
	○	○	室温偏压试验	长时间给器件施加电气性应力, 对其耐用性进行评价。 通常试验条件: Ta=25℃ 电源电压=Operation Max	102	—	Part5	A101-B
○		高温高湿保存试验	对器件长时间在高温高湿环境下放置时的耐用性进行评价。 正常试验条件: Ta=60℃, RH=90%	103	—	—	—	

图 8.2 具有代表性的可靠性试验

### 8.4. 热疲劳寿命试验

功率器件根据其使用工作条件的不同，器件温度会有所上升·下降。这种温度变化( $\Delta T$ )作为热疲劳，会造成功率器件内部结构劣化。这种热疲劳的演变过程进度（寿命）取决于  $\Delta T$ ，也就是说根据系统运行条件和环境条件的不同，寿命会有很大差异，这是功率器件的特征之一。

这种热疲劳寿命一般被称为功率循环寿命（功率循环承受能力）。利用表示循环重复次数和  $\Delta T$  关系的功率循环承受能力曲线，可以得出功率循环寿命，但根据  $\Delta T$  的时间依赖性，存在 2 种不同的模式，所以其曲线也有 2 种（功率循环承受能力曲线和 TFT 承受能力曲线）。

#### 8.4.1. 功率周期承受能力曲线（塑料模块式器件）

功率循环承受能力是由于芯片温度急剧上升、下降而产生的寿命曲线。功率循环承受能力试验的通电模式如图 8.3 所示。这种损坏模式的特点是，在图 8.4 所示的一般性功率模块结构中，因开关工作导致结温( $T_j$ )发生变化时，热膨胀系数存在差异的铝线和功率芯片之间会产生应力，在这种应力的作用下，接合面就会产生龟裂，或导致龟裂变严重，最终有可能演变成电线剥离模式而引发故障（芯片-电线之间的剥离）。这是逆变器芯片温度变化频繁发生的工作条件中，必须要考虑的一个承受能力。图 8.5 表示的是代表性产品 MG1200FXF1US53 的功率循环承受能力曲线。

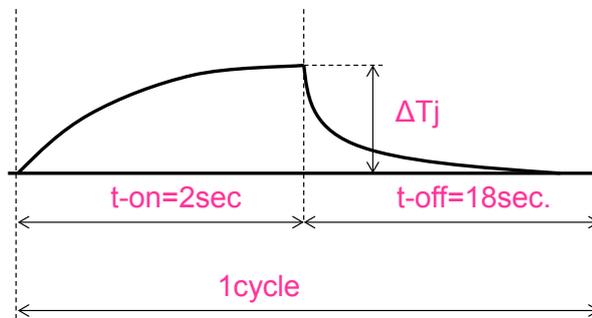


图 8.3 功率周循环承受能力试验的通电模式

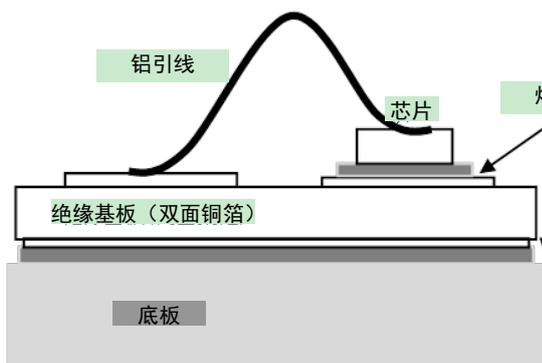


图 8.4 功率器件的纵向结构

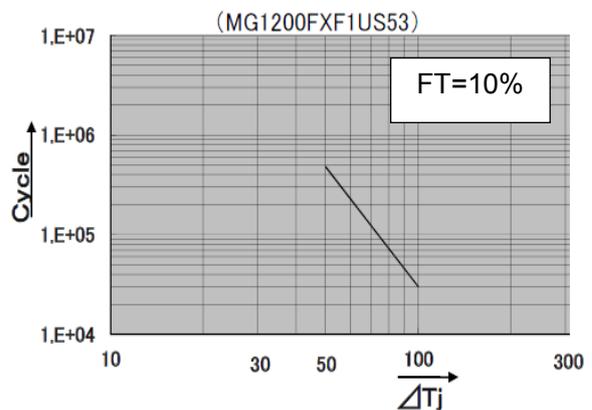


图 8.5 功率循环承受能力曲线  
(代表产品 MG1200FXF1US53)

### 8.4.2. TFT 承受能力曲线（塑料模块式器件）

这种模式是因芯片温度上升·下降使得外壳温度（主要是底板温度） $T_c$  也随之发生变化时而形成的寿命曲线。具体来说就是，在进行系统启动·停止、或相对较长时间连续运行/停止等、功率模块  $T_c$  会产生温度变化的工作时必须要考虑的一个承受能力。

这种损坏模式会使图 8.4 所示的底板和绝缘基板之间产生巨大的应力变形。这种应力反复产生时，绝缘基板-铜底板之间的焊锡就会出现龟裂，这样一来就有可能因热阻的增加而导致损坏。这个承受能力表示的是绝缘基板下面焊锡接合部位的寿命。

图 8.6 中表示的是 TFT 承受能力曲线试验的通电模式。同时，图 8.7 表示的是代表产品 MG1200FXF1US53 的 TFT 承受能力曲线。

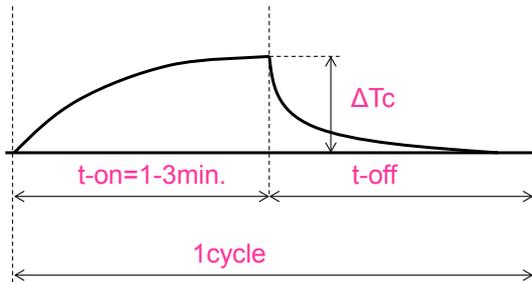


图 8.6 TFT 承受能力试验的通电模式

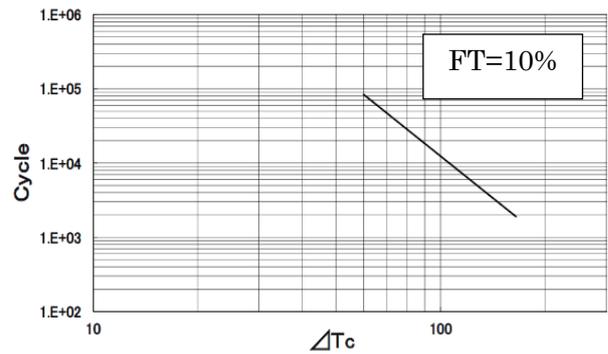


图 8.7 TFT 承受能力试验曲线  
(代表产品 MG1200FXF1US53)

## 8.5. 压接式器件的可靠性要点

提升压接式器件的可靠性必须对器件的实际组装方法及工作中的应力、使用环境中的外部应力多加考虑。这些要素之间存在紧密的联系，为保证您安全放心的使用，接下来将对主要要点进行说明。

### ● 压接式器件的实际组装方法

压接式器件是一种通过给主电极之间施加压力来实现电气性·热性接触的结构。进行实际压接安装时请注意以下要点。

- (1) 器件的主电极面应使用规定的压力均匀的进行压接。为保证在没有压力波动的状态下进行均匀压接，必须注意承受压力部分的组件（散热片等）的材质和平整度。通电时因负载功率的作用，器件自身会发生膨胀，压力会有所上升，所以为保证压力一致，结构中需使用蝶形弹簧。
- (2) 应确保热传导性良好，并进行合理的散热设计。为得到充分的散热效果，请将器件的主电极和散热片直接接触，在器件的主电极和散热片之间涂抹有导电性的导热硅脂。同时，器件的主电极必须进行双面冷却。

### ● 压接式器件的工作条件

施加给压接式器件的电压·电流及机器的使用环境条件是影响可靠性的重要原因。必须根据目标电路选择合适的器件并进行合理的电路设计，对工作点进行设定。压接式器件的故障率受工作时的温度及最高温度和最低温度差的影响较大，高温时及最高温度和最低温度差变大时，故障率也会升高。压接式器件多用于应对相对较大的电流、电压，功耗也较大。这种功耗方式会使压接式器件发热，从特性和可靠性方面来说这是非常不利的，所以必须进行高效的散热。

同时，进行电路设计时，外来的脉冲电压和噪音有可能会发生重叠，所以如果可以在考虑器件特性差异之后利用足够的电路容量和保护电路，预留足够余量，即可大幅延长器件的寿命以及机器的寿命。

为保证您安全放心的使用压接式器件，建议以低于最大额定电压、电流、功率、温度的条件进行使用。但是降额使用必须在考虑可靠性和经济性之后再行决定。

### ● 压接式器件的特性差异

制造工程的自动化和制造技术的进步取得了惊人的成果，通过这些技术的发展及对这些技术的积极导入，品质、可靠性也在逐年提升。但是，这种发展和进步不仅仅体现在压接式器件上，半导体产品的形状、结构、尺寸也越来越多样化，这些都是以物理化学技术为基础的，都需要高精度控制管理的精密技术为支撑。因此，即使只是一点点的偏差也有可能给产品特性带来巨大影响，即使使用最新技术也很难使各项特性都保持一致。根据工作条件和电路构成的不同，各器件的各项特性也会有所差异，必须分别对电路配置进行考虑。同时，在压接式器件中，虽然外壳内部并联装入了多个半导体芯片，但这些半导体芯片的各项特性在同一外壳内部实现了协调统一，可有效提升器件本身的可靠性。

### ● 压接式器件的耐环境性

虽然压接式器件通过气体密封结构保证了极高的可靠性，但如果直接将其暴露在有害气体、氯气、放射线等环境中，有可能造成特性变动、器件老化、密封膜和导线部位生锈等，所以必须引起注意。同时在高压条件下使用器件时，必须注意器件外壳的结露和表面污渍等。如果结露和污渍较严重，有可能导致器件表面出现放电，损坏装置的情况。考虑到绝缘，有时会将器件浸入油等冷却用媒介中使用。这种情况下，有可能会给器件的现物标识、栅极·发射极导线带来影响，所以请提前咨询本公司窗口。

## 8.6. 压接式器件的热疲劳模式

压接式器件的热疲劳寿命，很大程度上取决于所使用工作条件的温度变化 ( $\Delta T$ )。

压接式器件中是通过压接结构实现电气性连接和散热的，所以在热疲劳性方面的可靠性很高，非常值得期待。由于这种结构的特征，不会因引线键合式功率半导体器件中所说的功率循环承受能力而导致热疲劳寿命受到限制，但会受到对  $\Delta T$  依赖性非常强的 TFT 承受能力的影响。

在因 TFT 承受能力导致的劣化模式中，会因构成压接式器件的铜电极、钼板、半导体芯片的热膨胀差反复产生应力，最终损伤半导体芯片。

## 8.7. 压接式器件的故障模式

故障形态大致可以分为短路、断路及性能退化化三种。

造成短路不良的原因主要有三类，1) 因过电压、过电流等超电气应力导致的短路；2) 因性能退化加剧导致的短路；3) 因电气化学反应导致的短路等。

关于断路不良，和有一般性键合引线的半导体产品不同，压接式器件中，由于结构上的特征，器件很难出现断路不良。

从电气性特性来看，性能退化分很多种情况，例如耐压低于规格值以下、电流异常增加、或特性值的漂移等。器件是利用物理性、化学性技术制作而成的，所以电压、电流和温度会引起器件表面、内部产生热性及化学性变化，这些变化会导致器件发生变化，这些值就会依次增大最终超过规格值。原因包括以下三个方面，1) 结构上的缺陷、2) 设计上的问题、3) 使用上的问题。

同时，给压接式器件通过大电流时，受气体密封外壳的结构不容易损坏，但根据过电流大小的不同，外壳也有可能因出现损坏而损伤周围器材的情况。

### 9. 发生问题时的对应

将 IEGT 器件适用·使用到各个电路中时，有可能因配线错误、实际组装错误、控制信号失谐等异常导致器件异常工作、或损坏。器件异常工作或损坏时，必须明确其产生的原因，并采取必要的对策。

在对器件损坏时的原因进行调查的过程中，如果参照图 9.1 所示的故障树分析（Fault Tree Analysis）结构图推进就非常简单易懂了。

同时，通过分解损坏的器件，对芯片的损坏状态进行确认，即可对损坏模式进行推测。损坏模式的详细情况请参照图 9.2。

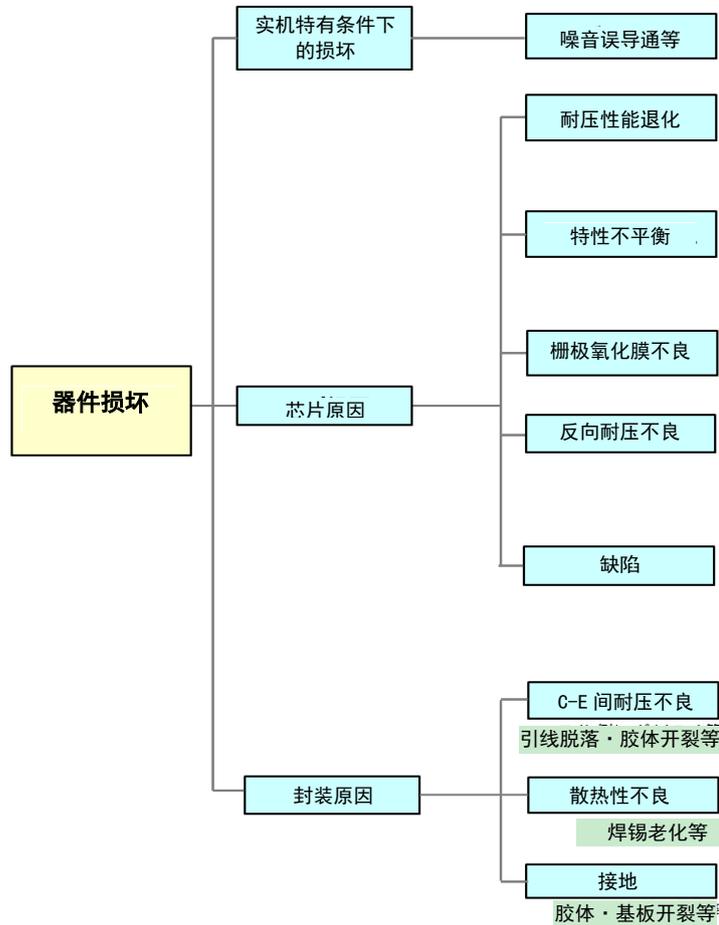


图 9.1 故障树分析的一个实例

对产品是否损坏进行确认时，可以用晶体管波形记录仪等特性测试装置进行判定，如果是 IEGT 器件，可以测量确认以下第（1）、第（2）项，如果是 FRD 器件，可以测量确认以下第（3）项。

- (1) G-E 间的泄漏电流
- (2) C-E 间的泄漏电流
- (3) A-K 间的泄漏电流

同时，用电路检查设备、电池检测仪等可以对电压、阻抗进行测量的装置代替波形记录仪也可以进行简易的故障判断。

		损害时间点 (可能性=◎:大,○:有,-:对象外)					芯片烧毁示意图	左图补充说明 (TR=IEGT、D=Diode)	可能存在的电气性原因、其他
		开通	稳定处于 ON 状态	关断	稳定处于 OFF 状态	其他			
1	关断损坏			◎				TR1 片 CE 短路、GE 短路 在图示芯片内发生损坏 根据损坏时功率的不同, 损坏痕迹大小也有差异。 (包括芯片筛选时) 存在其他芯片一并出现性能退化的情况	被施加了超过器件耐量的 Vcc、Vcp、Icp。Ls 过大。 FRD 损坏后的开关产生的过电流等
2	GE 耐压不良 1	○	○	○	○	○		TR1 片以上 GE、或 CE 短路 溶化痕迹 有时比较小	GE 间被施加了超过额定的电压 (包括 dv/dt 引起的 VGE 的变动) GE 断开时在 CE 之间施加了电压
3	GE 耐压不良 2 (主要指的是压接式器件的情况)					○	 面内随机	TR1 片以上 栅极配线损坏 Al 电极挤压、和其他配线发生短路	· 过度反复压接导致电线损坏 · 夹有异物 · 因包括单边接触在内的压接力过大导致的配线损坏、变形
4	CE/AK 的过电压							TR1 片以上、或 D1 片以上 芯片终端附近损坏 (芯片拐角部位较多)	· IEGT 关断时, FRD 反向恢复时的脉冲电压超过了阻止能力
5	反向恢复时的损坏 (FRD)	◎	-	-	-	-		D1 片 or 多片发生熔化 AK 短路	· 因施加 VR、IF 等过大带来的反向功率
6	短时间通电后反向恢复损坏 (FRD)	-	-	◎	-	-		D1 片 主体熔化 AK 短路	· 短时间施加过大反向功率 (IEGT 关断损坏后, 作为对向悬臂的 FWD 进行工作时等)
7	宇宙射线损坏 (LTDS)			○	○	○		TR1 片以上、或 D1 片以上 芯片终端附近或主体中的一部分出现了斑点式溶化	· Vcc/VR 过大 · 有受到海拔高等环境的影响。
8	脉冲电流损坏 (FRD)	○	○			○	 FRD 的例子	TR 1 片以上、或 D1 片以上 主体大量熔化。如果是 FRD 在伴随有反向恢复的情况下, 周围部分有可能会产生多个溶化痕迹	· 通超过允许的脉冲电流 · 如果是 IEGT, 通超过门锁承受能力

图 9.2 IEGT/FRD 芯片损坏示意图和推测损坏模式实例

注 1：如果上述主损坏芯片的溶化面积非常大，相邻芯片也有可能出现耐压性能退化、溶化的情况。

注 2：示意图中部分 IEGT/二极管图是通用的。（如果是二极管四角形中没有右上角的栅极电极。同时，压接式和塑料模块式 IEGT 内的栅极电极位置本来是不同的，但这里使用了同样的示意图。）

## RESTRICTIONS ON PRODUCT USE

- Toshiba Corporation, and its subsidiaries and affiliates (collectively "TOSHIBA"), reserve the right to make changes to the information in this document, and related hardware, software and systems (collectively "Product") without notice.
- This document and any information herein may not be reproduced without prior written permission from TOSHIBA. Even with TOSHIBA's written permission, reproduction is permissible only if reproduction is without alteration/omission.
- Though TOSHIBA works continually to improve Product's quality and reliability, Product can malfunction or fail. Customers are responsible for complying with safety standards and for providing adequate designs and safeguards for their hardware, software and systems which minimize risk and avoid situations in which a malfunction or failure of Product could cause loss of human life, bodily injury or damage to property, including data loss or corruption. Before customers use the Product, create designs including the Product, or incorporate the Product into their own applications, customers must also refer to and comply with (a) the latest versions of all relevant TOSHIBA information, including without limitation, this document, the specifications, the data sheets and application notes for Product and the precautions and conditions set forth in the "TOSHIBA Semiconductor Reliability Handbook" and (b) the instructions for the application with which the Product will be used with or for. Customers are solely responsible for all aspects of their own product design or applications, including but not limited to (a) determining the appropriateness of the use of this Product in such design or applications; (b) evaluating and determining the applicability of any information contained in this document, or in charts, diagrams, programs, algorithms, sample application circuits, or any other referenced documents; and (c) validating all operating parameters for such designs and applications. **TOSHIBA ASSUMES NO LIABILITY FOR CUSTOMERS' PRODUCT DESIGN OR APPLICATIONS.**
- **PRODUCT IS NEITHER INTENDED NOR WARRANTED FOR USE IN EQUIPMENTS OR SYSTEMS THAT REQUIRE EXTRAORDINARILY HIGH LEVELS OF QUALITY AND/OR RELIABILITY, AND/OR A MALFUNCTION OR FAILURE OF WHICH MAY CAUSE LOSS OF HUMAN LIFE, BODILY INJURY, SERIOUS PROPERTY DAMAGE AND/OR SERIOUS PUBLIC IMPACT ("UNINTENDED USE").** Except for specific applications as expressly stated in this document, Unintended Use includes, without limitation, equipment used in nuclear facilities, equipment used in the aerospace industry, medical equipment, equipment used for automobiles, trains, ships and other transportation, traffic signaling equipment, equipment used to control combustions or explosions, safety devices, elevators and escalators, devices related to electric power, and equipment used in finance-related fields. **IF YOU USE PRODUCT FOR UNINTENDED USE, TOSHIBA ASSUMES NO LIABILITY FOR PRODUCT.** For details, please contact your TOSHIBA sales representative.
- Do not disassemble, analyze, reverse-engineer, alter, modify, translate or copy Product, whether in whole or in part.
- Product shall not be used for or incorporated into any products or systems whose manufacture, use, or sale is prohibited under any applicable laws or regulations.
- The information contained herein is presented only as guidance for Product use. No responsibility is assumed by TOSHIBA for any infringement of patents or any other intellectual property rights of third parties that may result from the use of Product. No license to any intellectual property right is granted by this document, whether express or implied, by estoppel or otherwise.
- **ABSENT A WRITTEN SIGNED AGREEMENT, EXCEPT AS PROVIDED IN THE RELEVANT TERMS AND CONDITIONS OF SALE FOR PRODUCT, AND TO THE MAXIMUM EXTENT ALLOWABLE BY LAW, TOSHIBA (1) ASSUMES NO LIABILITY WHATSOEVER, INCLUDING WITHOUT LIMITATION, INDIRECT, CONSEQUENTIAL, SPECIAL, OR INCIDENTAL DAMAGES OR LOSS, INCLUDING WITHOUT LIMITATION, LOSS OF PROFITS, LOSS OF OPPORTUNITIES, BUSINESS INTERRUPTION AND LOSS OF DATA, AND (2) DISCLAIMS ANY AND ALL EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES AND CONDITIONS RELATED TO SALE, USE OF PRODUCT, OR INFORMATION, INCLUDING WARRANTIES OR CONDITIONS OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, ACCURACY OF INFORMATION, OR NONINFRINGEMENT.**
- Do not use or otherwise make available Product or related software or technology for any military purposes, including without limitation, for the design, development, use, stockpiling or manufacturing of nuclear, chemical, or biological weapons or missile technology products (mass destruction weapons). Product and related software and technology may be controlled under the applicable export laws and regulations including, without limitation, the Japanese Foreign Exchange and Foreign Trade Law and the U.S. Export Administration Regulations. Export and re-export of Product or related software or technology are strictly prohibited except in compliance with all applicable export laws and regulations.
- Please contact your TOSHIBA sales representative for details as to environmental matters such as the RoHS compatibility of Product. Please use Product in compliance with all applicable laws and regulations that regulate the inclusion or use of controlled substances, including without limitation, the EU RoHS Directive. **TOSHIBA ASSUMES NO LIABILITY FOR DAMAGES OR LOSSES OCCURRING AS A RESULT OF NONCOMPLIANCE WITH APPLICABLE LAWS AND REGULATIONS.**