

文章编号: 2095-4980(2016)03-0481-05

## 元器件氦质谱检漏失效判据的分析

王淑杰, 王晓敏

(中国工程物理研究院 计量测试中心, 四川 绵阳 621999)

**摘要:** 比较了现行国军标中氦质谱检漏固定法与灵活法标准判据, 在相同条件下, 2种方法的判据有数量级上的差别。相同内腔体积的半导体分立器件、电子及电气元件和微电子器件, 由于器件种类不同, 封装、工艺等不同, 细检漏的判据仍然存在较大差别。分析了美军标中氦质谱检漏标准判据, 指出国军标和美军标氦质谱检漏标准判据存在一定的不适用性, 建议元器件氦质谱检漏的标准判据应进一步改进。

**关键词:** 氦质谱检漏; 固定法; 灵活法; 漏率; 封装

**中图分类号:** TN307; TB774<sup>+.3</sup>

**文献标识码:** A

**doi:** 10.11805/TKYDA201603.0481

## Analysis on the failure criteria for helium mass spectrum fine leak of devices

WANG Shujie, WANG Xiaomin

(The Metrology and Testing Center, China Academy of Engineering Physics, Mianyang Sichuan 621999, China)

**Abstract:** Comparing the failure fixed methods and flexible methods in current national military standard, under the same condition, the magnitude difference of two methods results the confusion in actual applications. For the semiconductor discrete devices, electronic and electrical components and microelectronic devices which share the same volume cavity, there still exist bigger differences among their criteria of fine leak because of different styles, packages and processes. The standard criteria for fine leak in American military standard are analyzed. It is pointed out that there is still something not applicable in two standards. The standard criteria for helium mass spectrometer leak detection should be further improved.

**Key words:** helium leak test; fixed methods; flexible methods; leak rate; package

电子元器件的封装可分为气密性封装和非气密性封装。军用电子元器件一般都采用气密性封装, 以提高电子元器件的可靠性, 并延长使用寿命。如何判断气密性封装元器件的密封性能是否良好, 是否满足生产标准和使用要求, 就需要对电子元器件进行密封检测。密封检测一般发生在封装完成之后的质量检测、用户购买元器件之后的筛选以及元器件的破坏性物理分析(Destructive Physical Analysis, DPA)等阶段。虽然密封性检测在不同时间进行, 但检测依据的标准规范大致相同。在军用电子元器件的 DPA 检测中, 半导体分立器件的密封检测依据为 GJB128A-1997《半导体分立器件试验方法》方法 1071, 元件的密封性检测依据为 GJB360B-2009《电子及电气元件试验方法》方法 112, 集成电路的密封性检测依据为 GJB548B-2005《微电子器件试验方法和程序》方法 1014.2, 电磁继电器的密封性检测依据为 GJB65B-1999《有可靠性指标的电磁继电器总规范》<sup>[1]</sup>。这些标准中列举的密封性检测方法有很多, 但最常用的为氦质谱背压检漏方法。本文对国军标有关元器件氦质谱检漏的失效判据进行了分析, 并和最新美军标中相关判据进行了比较。

### 1 氦质谱背压检漏原理

将元器件放在加压容器中, 用氦气对元器件加压一定时间, 如果元器件有漏孔, 氦气将进入它的内腔。然后将被检元器件取出, 放入与氦质谱检漏仪相连的真空容器中抽真空。在真空状态下, 进入元器件内腔的氦气释放出来, 进入检漏仪, 检漏仪有漏率显示, 检漏原理示意图如图 1 所示。元器件密封完毕, 没有任何管孔, 既不能做抽真空检漏, 也不能做充压检漏, 因此, 氦质谱背压检漏方法在元器件检漏中应用最广, GJB128A-1997<sup>[2]</sup>,

GJB360B-2009<sup>[3]</sup>,GJB548B-2005<sup>[4]</sup>中的氦质谱检漏方法均为此种方法。

## 2 标准判据的分析研究

### 2.1 国军标中的标准判据

在各国军标中，氦质谱检漏均有固定法和灵活法 2 种。  
 固定法：直接把测量漏率  $R$  和所选试验条件中的拒收极限值  $R_1$  进行比较。如果  $R$  大于  $R_1$ ，结果为不合格；反之合格。  
 灵活法：根据元器件的内腔体积，在标准中选择对应的等效标准漏率拒收判据  $L$ ，然后再根据所选等效标准漏率  $L$  值、加压压力  $P_E$ 、压力作用时间  $t_1$  和停顿时间  $t_2$ ，利用式(1)计算测量漏率的极限值  $R_1$ ，把测量漏率  $R$  和计算出的测量漏率的极限值  $R_1$  进行比较，如果  $R$  大于  $R_1$ ，结果为不合格；反之合格。

$$R_1 = \frac{LP_E}{P_0} \left( \frac{M_A}{M} \right)^{\frac{1}{2}} \left[ 1 - \exp \left( - \frac{Lt_1}{VP_0} \left( \frac{M_A}{M} \right)^{\frac{1}{2}} \right) \right] \exp \left( - \frac{Lt_2}{VP_0} \left( \frac{M_A}{M} \right)^{\frac{1}{2}} \right) \quad (1)$$

式中： $P_0$  为绝对大气压力； $M_A$  为空气的分子量(为 28.7)； $M$  为示踪气体氦的分子量(为 4)； $V$  为被测器件封装的内腔体积； $t_1$  为受  $P_E$  压力作用的时间； $t_2$  为去除压力后到检漏之间的停顿时间。

国内进行元器件密封检测，基本上依据 GJB128A-1997,GJB360B-2009,GJB548B-2005,GJB65B-1999 等几个标准。表 1 是标准中固定法氦质谱检漏失效判据的汇总，表 2 是标准中灵活法氦质谱检漏失效判据的汇总。

表 1 固定法氦质谱检漏失效判据  
 Table1 Failure criteria of fixed methods

standard	V/cm <sup>3</sup>	pressure condition			R <sub>1</sub> /(Pa·cm <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ) (He)
		P <sub>E</sub> /kPa	t <sub>1</sub> /h	t <sub>2</sub> /h	
GJB548B-2005	V<0.05	517	2	1	5×10 <sup>-3</sup>
	0.05≤V<0.5	517	4	1	5×10 <sup>-3</sup>
	0.5≤V<1.0	310	2	1	1×10 <sup>-2</sup>
	1.0≤V<10.0	310	5	1	5×10 <sup>-3</sup>
	10.0≤V<20.0	310	10	1	5×10 <sup>-3</sup>
GJB360B-2009	V<0.4	414	2	1	5.07×10 <sup>-3</sup>
	V≥0.4	414	2	1	20.3×10 <sup>-3</sup>
	V≥0.4	207	4	1	10.1×10 <sup>-3</sup>
GJB128A-1997	V<0.05	517	2	1	5×10 <sup>-3</sup>
	0.05<V<0.5	517	4	1	5×10 <sup>-3</sup>
	0.5<V<1.0	310	2	1	1×10 <sup>-2</sup>
	1.0<V<10.0	310	5	1	5×10 <sup>-1</sup>
	10.0<V<20.0	310	10	1	5×10 <sup>-1</sup>

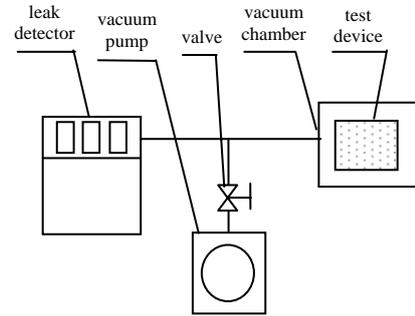


Fig.1 Principle of helium mass spectrometer leak detection  
 图 1 氦质谱背压检漏原理

表 2 灵活法氦质谱检漏失效判据  
 Table2 Failure criteria of flexible methods

standard	V/cm <sup>3</sup>	L/(Pa·cm <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ) (air)
GJB548B-2005	V≤0.01	5×10 <sup>-3</sup>
	0.01<V≤0.4	1×10 <sup>-2</sup>
GJB360B-2009	V>0.4	1×10 <sup>-1</sup>
	V≤0.01	5.07×10 <sup>-3</sup>
	0.01<V≤0.4	10.13×10 <sup>-3</sup>
GJB128A-1997	V>0.4	101.3×10 <sup>-3</sup>
	V≤0.01	5×10 <sup>-3</sup>
	0.01<V≤0.5	1×10 <sup>-2</sup>
	V>0.5	1×10 <sup>-1</sup>

### 2.2 国军标中氦质谱检漏的标准判据分析

由表 1 可看出，在固定法失效判据中，GJB548B-2005 和 GJB128A-1997 的内腔体积划分相同，但在体积大于 1.0 cm<sup>3</sup> 时，GJB548B-2005 为 5×10<sup>-3</sup> Pa·cm<sup>3</sup>/s，而 GJB128A-1997 判据为 5×10<sup>-1</sup> Pa·cm<sup>3</sup>/s，相比低了 2 个数量级。GJB360B-2009 体积划分较粗，体积小于 0.4 cm<sup>3</sup> 时，判据和其他 2 个标准相同，体积大于 0.4 cm<sup>3</sup> 时，判据为 20.3×10<sup>-3</sup> Pa·cm<sup>3</sup>/s，在体积大于 1.0 cm<sup>3</sup> 时，判据比其他标准低了 1 个数量级。由表 2 可以看出：各标准中灵活法判据基本相同，在内腔体积的划分上，GJB128A-1997 和其他标准稍有不同。综合分析，针对半导体分立器件、电子及电气元件和微电子器件，由于器件种类不同，封装、工艺等不同，即使元器件内腔体积相同，细检漏的判据仍存在较大差别。

经过研究，在加压压力、加压时间和候检时间都相同的情况下，灵活法与固定法的判据差别较大，与元器件的内腔体积有很大关系，国内也有相关的文献<sup>[5-6]</sup>进行此方面的分析。以 GJB548B-2005 为例，相同条件下(加压压力 517 kPa，加压时间 2 h)，不同体积被测件由灵活法计算出的拒收极限见表 3。由表 3 可看出，在相同加压

条件下，由灵活法计算出的拒收极限与固定法拒收极限，在同一等效标准漏率范围内，随着体积的增大，差值也增大。如体积为 0.4 cm<sup>3</sup> 的器件，按固定法检测判据为 5 × 10<sup>-3</sup> Pa·cm<sup>3</sup>/s，按灵活法检测判据为 4.86 × 10<sup>-4</sup> Pa·cm<sup>3</sup>/s，二者相差一个数量级。对于同一被测件，在相同的试验条件下，选择固定法和选择灵活法的判据不一致，那么选哪种方法比较合理？或者说固定法和灵活法哪一个方法给出的判据更合理？目前，业内推荐使用固定法，因灵活法判据严于固定法，如果不是有意加严检验要求，一般不采用灵活法。

表 3 灵活法计算拒收极限与固定法拒收极限的比较

Table3 Reject limit for fixed methods and flexible methods

V/cm <sup>3</sup>	equivalent leak rate L/(10 <sup>-2</sup> Pa·cm <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )(air)	reject limit from fixed methods R <sub>f</sub> /(Pa·cm <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )(He)	reject limit for flexible methods R <sub>f</sub> /(10 <sup>-3</sup> Pa·cm <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )(He)
0.015	1	6.48 × 10 <sup>-3</sup>	5
0.05		3.89 × 10 <sup>-3</sup>	
0.10		1.94 × 10 <sup>-3</sup>	
0.20		9.71 × 10 <sup>-4</sup>	
0.30		6.48 × 10 <sup>-4</sup>	
0.40		4.86 × 10 <sup>-4</sup>	

2.3 美军标中氦质谱检漏的标准判据分析

美军标中有关元器件密封检测的主要标准有 MIL-STD-883 《Microcircuits》，MIL-STD-750 《Environmental Test for Semiconductor Devices》，MIL-STD-202 《Electronic and Electrical Component parts》。其中，MIL-STD-202G-2013 和 GJB360B-2009 中氦质谱检漏的标准判据相同，没有变化，MIL-STD-883G-2006 和 GJB548B-2005 中氦质谱检漏的标准判据相同。但 MIL-STD-883J-2014 氦质谱检漏的标准判据发生了很大变化<sup>[7]</sup>，表 4 为 MIL-STD-883J-2014 方法 1014.14 细检漏固定法失效判据，表 5 为 MIL-STD-883J、MIL-STD-883G<sup>[8]</sup> 和 GJB548B 的比较。

由表 4 和表 5 可以看出，MIL-STD-883J-2014 的灵活法对等级较高的混合集成电路的密封性加严了判据，特别是对体积大于 0.05 cm<sup>3</sup> 的器件，判据提高了 2 个数量级，对应固定法判据为 10<sup>-6</sup> Pa·cm<sup>3</sup>/s，是一个很大的改变，这同时也要求氦质谱检漏仪具有更高的灵敏度。对其他等级电路，灵活法体积划分有改变，体积为 0.01 cm<sup>3</sup>~0.05 cm<sup>3</sup> 器件的失效判据由 5 × 10<sup>-3</sup> Pa·cm<sup>3</sup>/s 变为 1 × 10<sup>-2</sup> Pa·cm<sup>3</sup>/s。固定法中，对体积进行了细分，由原来的 5 个区间段变为 7 个区间段，分别增加了 1 cm<sup>3</sup>~5 cm<sup>3</sup> 和 0.1 cm<sup>3</sup>~0.4 cm<sup>3</sup> 区间段；对不同体积区间内的加压条件进行了变动，大体积器件降低了加压压力，延长加压时间，小体积器件的加压时间进行了调整。经过这样调整之后，在相同条件下，由灵活法计算出的拒收极限和固定法的拒收极限一致性较好，计算结果见表 6。

表 4 MIL-STD-883J 方法 1014.14 氦质谱细检漏固定法判据

Table4 Failure criteria for flexible methods of methods 1014.14 in MIL-STD-883J

V/cm <sup>3</sup>	pressure condition hybrid classes B and H, and monolithic B,S,Q and V				
	P <sub>E</sub> /kPa	t <sub>1</sub> /h	t <sub>2</sub> /h	R <sub>f</sub> /(Pa·cm <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )(He)	L/(Pa·cm <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )(air)
<0.05	517	5.0	1	3 × 10 <sup>-3</sup>	≤5 × 10 <sup>-3</sup>
	517	1.0		5 × 10 <sup>-4</sup>	
0.05 ≤ V < 0.1	517	2.5	1	3 × 10 <sup>-3</sup>	≤1 × 10 <sup>-2</sup>
	517	0.5		5 × 10 <sup>-4</sup>	
0.1 ≤ V < 0.4	414	12.0	1	3 × 10 <sup>-3</sup>	≤1 × 10 <sup>-1</sup>
	414	2.0		5 × 10 <sup>-4</sup>	
0.4 ≤ V < 1.0	206	1.0	1	3 × 10 <sup>-3</sup>	≤1 × 10 <sup>-1</sup>
	206	0.5		5 × 10 <sup>-4</sup>	
1.0 ≤ V < 5.0	206	3.0	1	3 × 10 <sup>-3</sup>	≤1 × 10 <sup>-1</sup>
	206	0.5		5 × 10 <sup>-4</sup>	
5.0 ≤ V < 10	206	6.0	1	3 × 10 <sup>-3</sup>	≤1 × 10 <sup>-1</sup>
	206	1.0		5 × 10 <sup>-4</sup>	
10 ≤ V < 20	206	12.0	1	3 × 10 <sup>-3</sup>	≤1 × 10 <sup>-1</sup>
	206	2.0		5 × 10 <sup>-4</sup>	

V/cm <sup>3</sup>	pressure condition hybrid classes S and K only				
	P <sub>E</sub> /kPa	t <sub>1</sub> /h	t <sub>2</sub> /h	R <sub>f</sub> /(Pa·cm <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )(He)	L/(Pa·cm <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )(air)
<0.05	517	5.0	1	1.32 × 10 <sup>-6</sup>	≤1 × 10 <sup>-4</sup>
0.05 ≤ V < 0.1	517	2	1	6.58 × 10 <sup>-6</sup>	≤5 × 10 <sup>-4</sup>
0.1 ≤ V < 0.4	414	8	1	5.26 × 10 <sup>-6</sup>	≤5 × 10 <sup>-4</sup>
	310	6		4.74 × 10 <sup>-6</sup>	
0.4 ≤ V < 1.0	414	4	1	4.21 × 10 <sup>-6</sup>	≤1 × 10 <sup>-3</sup>
	206	48		5.05 × 10 <sup>-6</sup>	
1.0 ≤ V < 5.0	310	12	1	1.89 × 10 <sup>-6</sup>	≤1 × 10 <sup>-3</sup>
	206	48		2.53 × 10 <sup>-6</sup>	
5.0 ≤ V < 10	206	48	1	2.53 × 10 <sup>-6</sup>	≤1 × 10 <sup>-3</sup>
10 ≤ V < 20	206	72	1	11.90 × 10 <sup>-6</sup>	≤1 × 10 <sup>-3</sup>

表 5 灵活法判据比较

Table5 Comparison of failure criteria for flexible methods

standard	V/cm <sup>3</sup>	L/(Pa·cm <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )(air)	
		hybrid classes B and H and monolithic B,S,Q	hybrid cases S and K
883J-2014	V ≤ 0.05	5 × 10 <sup>-3</sup>	1 × 10 <sup>-4</sup>
	0.05 < V ≤ 0.4	1 × 10 <sup>-2</sup>	5 × 10 <sup>-4</sup>
	V > 0.4	1 × 10 <sup>-1</sup>	1 × 10 <sup>-3</sup>
883G-2006 GJB548B	V ≤ 0.01	5 × 10 <sup>-3</sup>	1 × 10 <sup>-4</sup>
	0.01 < V ≤ 0.4	1 × 10 <sup>-2</sup>	5 × 10 <sup>-4</sup>
	V > 0.4	1 × 10 <sup>-1</sup>	1 × 10 <sup>-3</sup>

MIL-STD-750F-2012 方法 1071.9 中<sup>[9]</sup>，对氦质谱检漏作了大幅度改进。在灵活法中，对体积进行细分，增加

了  $0.002 \text{ cm}^3 \sim 0.02 \text{ cm}^3$  段;将基本判据——等效标准漏率  $L$  提高了 2 个数量级,达  $5 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{cm}^3/\text{s} \sim 1 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{cm}^3/\text{s}$ , 见表 7。固定法和灵活法对应,对体积进行了细分,各体积段的加压方案有改变:一种方案是加氦压力均为 517 kPa, 压氦时间为 20 h, 5 h 和 10 h, 氦气测量漏率  $R_1$  判据为  $2.1 \times 10^{-4} \text{ Pa}\cdot\text{cm}^3/\text{s} \sim 6.7 \times 10^{-7} \text{ Pa}\cdot\text{cm}^3/\text{s}$ ; 另一种方案是, 氦气测量漏率  $R_1$  判据均为  $5.1 \times 10^{-4} \text{ Pa}\cdot\text{cm}^3/\text{s}$ , 加氦压力均为 620 kPa, 加压时间  $t_1$  最短为 20 h, 多为数百小时, 最长为 6 450 h (269 天)。2 种方案的最大停留时间  $t_2$ , 在体积小于等于  $0.03 \text{ cm}^3$  时为 0.5 h, 体积大于  $0.03 \text{ cm}^3$  时为 1 h。

通过对几个美军标中氦质谱检漏判据的分析, 可以看出, 虽然标准判据作了大幅度改进, 但仍存在一些问题:

1) MIL-STD-750F 中压氦压力为 517 kPa 或 620 kPa, 是以前按 206 kPa 或 413 kPa 设计的一些元器件难以承受的, 加压过程可能导致器件的损坏;

2) MIL-STD-750F 中加压时间  $t_1$  多为数百小时, 最长为 6 450 h, 几十天、几百天的一次氦气加压检漏时间, 使一些装备的研制生产周期难以接受;

3) MIL-STD-883J 和 MIL-STD-750F 中氦气测量漏率  $R_1$  判据为  $10^{-6} \text{ Pa}\cdot\text{cm}^3/\text{s} \sim 10^{-7} \text{ Pa}\cdot\text{cm}^3/\text{s}$  数量级, 提高了对检漏设备的灵敏度要求;

4) 缩短了最长停留时间  $t_2$ , 很难控制器件表面吸附漏率。

### 3 常用氦质谱检漏仪灵敏度现状分析

在元器件密封性试验中, 常用的氦质谱检漏仪主要为进口国外的检漏仪, 国产检漏仪使用最多的是中科科仪生产的氦质谱检漏仪。几种常用检漏仪见表 8。

从表 8 可看出, 目前使用的检漏仪最小可检漏率基本在  $5 \times 10^{-12} \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s} \sim 5 \times 10^{-13} \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$  左右, 能够满足细检漏拒收极限为  $5 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{cm}^3/\text{s}$  的测试要求。但对于 MIL-STD-883J 和 MIL-STD-750F 中  $10^{-6} \text{ Pa}\cdot\text{cm}^3/\text{s} \sim 10^{-7} \text{ Pa}\cdot\text{cm}^3/\text{s}$  数量级的拒收极限, 现有氦质谱检漏仪很难满足要求, 美军标中改进的判据对检漏设备也提出了新的挑战。

### 4 结论

简要介绍了氦质谱检漏的原理及其在元器件密封检测中的应用。分析了国军标和美军标中相关元器件氦质谱检漏的失效判据, 其都存在一定的局限性。通过分析和比较, 国军标中灵活法和固定法的失效判据在相同加压条件下, 有较大差别, 给使用者对检漏方法的选择带来困惑。新版美军标 MIL-STD-883J 对体积区间划分和加压条件调整后, 使灵活法和固定法的失效判据在相同加压条件下, 一致性较好。美军标 MIL-STD-750F 虽然做出了较大改进, 但在实际使用中仍存在一些问题, 操作性不强。

随着元器件可靠性要求的提高, 存储时间的延长, 必然要求各项标准判据更加严格, 但同时也导致了加严判据与检测条件之间的矛盾: 加严的判据可能使检测条件无法实施, 使人们处于困窘的局面。元器件氦质谱检漏的失效判据应进一步改进。

表 6 MIL-STD-883J 灵活法计算拒收极限与固定法拒收极限的比较  
Table 6 Reject limit for fixed methods and flexible methods in MIL-STD-883J

$V/\text{cm}^3$	$L/(\text{Pa}\cdot\text{cm}^3\cdot\text{s}^{-1})$ (air)	reject limit from fixed	reject limit for flexible
		methods $R_1/(10^{-3}\text{Pa}\cdot\text{cm}^3\cdot\text{s}^{-1})(\text{He})$	methods $R_1/(10^{-3}\text{Pa}\cdot\text{cm}^3\cdot\text{s}^{-1})(\text{He})$
0.01	$5 \times 10^{-3}$	6.10	3
0.02		3.05	
0.03		2.03	
0.04		1.52	
0.05	$1 \times 10^{-2}$	2.44	
0.08		1.52	
0.1		4.69	
0.2		2.34	
0.3		1.56	
0.4		4.86	
0.8	$1 \times 10^{-1}$	2.43	
1.0		5.83	
3.0		1.94	
5.0		2.33	
8.0		1.46	
10.0		2.33	
15.0		1.55	
20.0		1.17	

表 7 MIL-STD-750F-2012 方法 1071.9 灵活法判据

Table 7 Failure criteria for flexible methods of methods 1071.9 in MIL-STD-750F-2012

$V/\text{cm}^3$	$L/(\text{Pa}\cdot\text{cm}^3\cdot\text{s}^{-1})$ (air)
$V \leq 0.002$	$5 \times 10^{-3}$
$0.002 < V \leq 0.02$	$1 \times 10^{-4}$
$0.02 < V \leq 0.5$	$5 \times 10^{-4}$
$V > 0.5$	$1 \times 10^{-3}$

表 8 常用检漏仪

Table 8 Common leak detector

model	manufacturer	minimum detectable helium leak rates
UL1000	INFICON	$< 5 \times 10^{-13} \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$
HLT 560	PREIFFER	$< 5 \times 10^{-13} \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$
ASM 340	ALCATEL	$5 \times 10^{-13} \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$
MSE-4200S	SHIMADZU	$2.5 \times 10^{-10} \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$
ZQJ-542G	KYKY	$\leq 10^{-12} \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$

## 参考文献：

- [ 1 ] GJB4027A-2006 军用电子元器件破坏性物理分析方法[S]. 2006. (GJB4027A-2006 Methods of destructive physical analysis for military electronic components[S]. 2006.)
- [ 2 ] GJB128A-1997 半导体分立器件试验方法[S]. 1997. (GJB128A-1997 Test methods for semiconductor discrete devices[S]. 1997.)
- [ 3 ] GJB360B-2009 电子及电气元件试验方法[S]. 2009. (GJB360B-2009 Test methods for electronic and electrical component parts[S]. 2009.)
- [ 4 ] GJB548B-2005 微电子器件试验方法和程序[S]. 2005. (GJB548B-2005 Test methods and procedures for microelectronic device[S]. 2005.)
- [ 5 ] 金毓铨. 标准中氦质谱检漏试验判据的研究[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2011,29(3):1-3. (JIN Yuquan. Study on the test criterion for helium leak in the standard[J]. Electronic Product Reliability and Environment Test, 2011,29(3):1-3.)
- [ 6 ] 王庚林,王莉研,董立军. 氦质谱细检漏标准的漏率判据及改进分析[C]// 中国真空学会质谱分析与检漏专业委员会第十四届年会.甘肃,敦煌:[s.n.], 2007:11-19. (WANG Genglin,WANG Liyan,DONG Lijun. Leak rate criterion and improvement analysis for helium mass spectrum fine leak standard[C]// The 14th Annual Meeting for Mass Spectrometry and Leak Detection Professional Committee of Chinese Vacuum Society. Dunhuang,Ganshu,China:[s.n.], 2007:11-19.)
- [ 7 ] MIL-STD-883J Test Method Standard Microcircuits Change 2[S]. 2014.
- [ 8 ] MIL-STD-883G Test Method Standard Microcircuits[S]. 2006.
- [ 9 ] MIL-STD-750F Test Method Standard Test Methods for Semiconductor Devices[S]. 2012.

## 作者简介：



王淑杰(1974-),女,辽宁省西丰县人,硕士,高级工程师,主要从事电子元器件破坏性物理分析检测技术研究及热学计量测试技术研究.email:wangsj625@caep.cn.

王晓敏(1961-),女,四川省绵阳市人,研究员,主要从事电子元器件破坏性物理分析检测技术研究及电磁学计量测试技术研究.