

真空烘烤和 Cs 蒸汽对单通道电子倍增器 某些电性能的影响*

李行实

(中国科学院电子学研究所)

单通道电子倍增器(简称 CEM)作为辐射探测器已应用于有关科技领域. 本实验的目的在于了解在包含光电阴极和 CEM 的器件内,烘烤温度和 Cs 蒸汽对 CEM 的电阻和电子增益的影响.

(一) 实验装置和测量方法 实验测量装置原理图如图 1 所示.

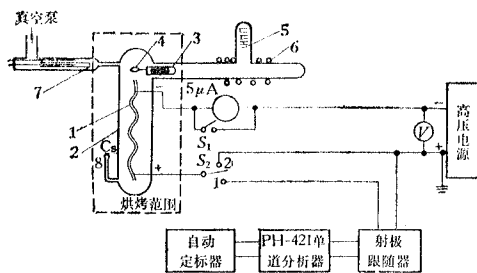


图1 测量装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the measuring equipment

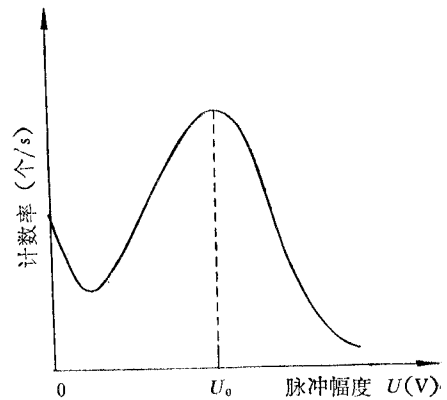


图2 脉冲幅度分布

Fig. 2 Distribution curve of impulse height

图中 1——CEM, 2——玻璃管壳, 3——由磁铁吸动的铁块, 4—— β 射线源 Sr^{90} , 5——热屏蔽片, 6——水冷管, 7——Sb 源, 8——Cs 源. 虚线框为烘烤区域. 烘烤前先将 β 射线源拉出烘烤区域, 并将热屏蔽片 5 置于烤箱口处. 引 Cs 温度为 $160^{\circ}C$. 每次烘烤或引 Cs 后在室温下进行测量.

将 S_1 打开, S_2 置于 2 处, 高压电源调至 $2000V$, 从微安表读出电流值 I , 即可求出 CEM 的电阻值

$$R = \frac{2000}{I}$$

将 S_1 合上, S_2 置于 1 处, 高压电源调至 $3000V$, β 射线源对准 CEM 入口, 改变单道

* 1981年10月4日收到.

脉冲分析器的阈值, 读出相应计数率, 即可得到脉冲幅度分布曲线(图 2)。记下计数率峰值所对应的脉冲幅度 U_0 。 U_0 是一个电子经 CEM 倍增后形成的电荷量 Q 在负载电容 C 上产生的电压, 即

$$Q = CU_0.$$

这时电子增益

$$G = \frac{Q}{e} = \frac{CU_0}{e},$$

其中 e 为电子电荷。在本装置中 $C \approx 10\text{pF} = 10^{-11}\text{F}$, 故

$$G = \frac{10^{-11}}{1.6 \times 10^{-19}} U_0 = \frac{U_0}{1.6} \times 10^8.$$

(二) 测量结果和讨论 实验用的 CEM 样品, 是用内径为 2.2mm、长为 170mm 的高铅含量玻璃管作成波浪形或螺线管形, 再在 380°C 温度下, 用 H_2 还原制成的。

我们对 7 个 CEM 样品各进行了 1—2 次实验。每次实验都依次对样品进行 200°C、250°C、300°C、350°C 烘烤, 然后封闭或敞开 CEM 两端管口, 作引 Cs 处理。每进行一步之后, 在室温下测量 CEM 的电阻和增益。每次烘烤的时间在 1—4 小时之间。烘烤时, 由于 CEM 出气, 系统真空度开始都要变坏: 200°C 烘烤时, 压强最高达到 1.5×10^{-4} 托, 250°C 以上的各次烘烤, 压强最高达到 4×10^{-5} 托。测量数据时, 压强在 1×10^{-6} 托以下。我们发现, CEM 的电阻和增益大体上按一定规律随烘烤温度的不同而变化, 而与烘烤时间的长短、真空度变坏的关系不大。现将烘烤温度和 Cs 蒸汽对 CEM 电阻和增益的影响分述如后。

1. 不同烘烤温度对 CEM 电阻的影响

不同烘烤温度对 CEM 电阻的影响如表 1 所示。由表 1 可见, 在 200°C 首次烘烤后, 电阻比未烘烤时有较大变化; 接着在 250°C 和 300°C 烘烤后, 电阻的变化则很小, 表现出电阻有一个不随烘烤温度变化的稳定范围。这显然是由于 CEM 在大气中吸附、吸藏的气体和水汽被首次烘烤所清除的结果。因为 CEM 表面是用 H_2 还原活化过的, 电子导电

表 1 不同烘烤温度对 CEM 电阻的影响

Tab. 1 Influence of bakeout at different temperatures on resistance of CEM

管 号	烘前电阻 ($\times 10^9 \Omega$)	200°C 烘后电阻 ($\times 10^9 \Omega$)	250°C 烘后电阻 R_0 ($\times 10^9 \Omega$)	300°C		350°C	
				烘后电阻 R_1 ($\times 10^9 \Omega$)	$\frac{R_1 - R_0}{R_0}(\%)$	烘后电阻 R_2 ($\times 10^9 \Omega$)	$\frac{R_2 - R_1}{R_0}(\%)$
1	0.57	0.47	0.48	0.47	-2.4	0.51	+8.8
2	0.64	0.62	0.62	0.60	-2.9		
3	0.90	0.83	0.83	0.82	-0.8	0.87	+5.6
4	2.74	2.17	2.08	2.06	-1	2.33	+12.7
5	1.32	1.30	1.31	1.33	+2	1.58	+18.5
6	1.39	1.29	1.29	1.32	+2	1.40	+6.4
7	1.85		1.68				

以表面导电为主,体内导电则可忽略,因而电阻基本取决于表面状态. 所以电阻的稳定状态与最佳的清洁表面的获得紧密相关. 350°C 烘烤后各管电阻又均有较大升高. 这是由于 CEM 体内和表面分子的热扩散和蒸发引起的成份变化造成的. 表中还列出了取在 250°C 烘烤后的电阻 R_0 为稳定值,算出的在 300°C 和 350°C 烘烤后的电阻值的相对变化量. 可以看出,在 300°C 烘烤后,电阻的相对变化量在 3% 以下,而在 350°C 烘烤后,则达 6% 以上,有的甚至接近 20%.

电阻的稳定状态表明在烘烤中随温度升高而变化了的电阻值在降温后又回复到烘烤前的值时,则认为电阻值是随温度作可逆变化的. 而烘烤后电阻的值不同于烘烤前的值时,则认为电阻随温度的变化是不可逆的^[1]. 从表 1 所列的结果来看,在 200—250°C 烘烤后的结果相当于可逆变化,在 300°C 烘烤后,就出现了较小的不可逆变化,而在 350°C 烘烤后则引起了明显的不可逆变化,电阻有较大升高. 这里,可逆变化与不可逆变化之间的转变温度 T_A 为 250°C 或稍高. 这和文献[1]中提到的微通道板的 T_A 值在 210—250°C 范围内是接近的,但稍高.

这里看来,所谓“可逆变化”和我们这里观察到的电阻稳定状态的实质是同一回事. 它们都取决于最佳清洁表面的获得.

2. 烘烤温度对 CEM 电子增益的影响

各次烘烤后测得的增益示于表 2. 可以看出,表中所列的 4 个 CEM 样品在 200°C 烘烤后,增益全都比未烘时高,并且在 200—250°C 间有最大值. 这是由于表面吸附的水汽和气体被清除,获得了较清洁的表面,提高了二次发射能力的缘故.

值得注意的是,如果将每个 CEM 的稳定电阻和最大增益所对应的烘烤温度列成表(表 3),则我们将发现它们有在某烘烤温度同时出现的趋势. 我们知道,增益取决于表面情况(物质种类、结构、杂质污染、气体吸附等). 我们也知道,稳定电阻是在最佳清洁表面情况下达到的. 因此最大增益和稳定电阻的同时出现说明电子增益也是在最佳清洁表面情况下达到最大值的. 此外,我们还可看到,在稳定范围的开始端(低温端)增益更高些. 这个结论原是意料中的,因为在最佳清洁表面情况下,表面覆盖的吸附气体分子数量最少,对 CEM 的二次发射能力影响最小,增益自然会最大. CEM 电阻和增益的这一特性是有实际意义的. 例如,为了知道在烘烤中,CEM 的增益是否已达最大,我们可以简单地通过监测 CEM 的电阻是否已进入稳定范围来判断. 这比直接去测量增益本身要容易得多.

表 2 不同烘烤温度对 CEM 增益的影响

Tab. 2 Influence of bakeout at different temperatures on electron gain of CEM

增益 ($\times 10^4$) 管号	程序	烘 前	200°C 烘后	250°C 烘后	300°C 烘后	350°C 烘后
		1	0.33	1.2	1.2	0.81
2		1.1	1.88	1.66		
4		0.72	0.88	1.44	1.38	1.13
5		0.88	0.98	0.80	0.81	0.93

表 3 稳定电阻和最大增益出现的温度

Tab. 3 Temperatures at which the steady resistance and higher gain appear

管 号	项 目	烘 前	200°C 烘后	250°C 烘后	300°C 烘后	350°C 烘后
1	稳定电阻 ($\times 10^9 \Omega$)		0.47	0.48	0.47	
	最大增益 ($\times 10^8$)		1.2	1.2		
2	稳定电阻 ($\times 10^9 \Omega$)		0.62	0.62	0.60	
	最大增益 ($\times 10^8$)		1.88	1.66		
4	稳定电阻 ($\times 10^9 \Omega$)			2.08	2.06	
	最大增益 ($\times 10^8$)			1.44	1.38	
5	稳定电阻 ($\times 10^9 \Omega$)		1.30	1.31		
	最大增益 ($\times 10^8$)		0.98			

另外,在 300°C 烘烤后,所有样品的增益都多少有些降低。在 350°C 烘烤后,则降低得更多,但仍比未烘烤时高不少。增益降低是由于高温烘烤引起了 CEM 表面和体内物质的热扩散和蒸发,改变了表面状态的缘故。但总的说,在 350°C 高温烘烤引起的增益降低尚不是十分严重的问题。

3. Cs 蒸汽对 CEM 电阻的影响 引 Cs 实验中一部分是先封闭 CEM 两端管口引 Cs 一次,再敞开两端引 Cs 一次,另一部分则是完全敞开两端引 Cs 的。封闭是用镍片焊成的小帽或塞子套在 CEM 两端来实现的。

引 Cs 后 CEM 电阻变化情况示于表 4 中。由表 4 可见,Cs 蒸汽能使 CEM 电阻大大降低。

表 4 引 Cs 后 CEM 电阻值的变化

Tab. 4 Changes in resistance of CEM after treatment with Cs

管号	初值 R_0 ($\times 10^9 \Omega$)	封闭引 Cs 后			敞开引 Cs 后			暴露大气后 $R(\times 10^9 \Omega)$
		时 间 (min)	$R(\times 10^9 \Omega)$	R/R_0 (%)	时 间 (min)	$R(\times 10^9 \Omega)$	R/R_0 (%)	
1	0.51				<30	0.44	85	
3	0.87				<30	0.79	91	
5	1.58	180	1.33	85	90 (Cs不足)	1.27	81	1.74
4	2.33	70	1.67	72	55	1.35	58	
6	1.40	105	0.73	52	58	0.36	25.4	
7	1.68				65	0.43	25.5	1.75

在 6 号管的封闭引 Cs 过程中, 封闭 CEM 两端虽对防止 Cs 蒸汽进入管内有一定作用, 但显然并不严密, 未能有效地阻止 Cs 的进入. 5 号管的封闭则较严密, 引 Cs 3 小时仅使 CEM 电阻下降到初值的 85%.

由此可见, 要减少 Cs 的影响, 可以从两方面采取措施. 一是尽可能缩短 Cs 的作用时间, 控制在半小时以内; 一是严密封闭 CEM 的两端.

另外, 引 Cs 后再暴露大气, 则使大大降低了的电阻值立即又回复到引 Cs 前的初值附近. 这表明 CEM 上的 Cs 可能并未形成稳定的化合物, 而是自由地吸附在表面上, 或以较弱的键与表面其它物质形成不太稳定的结合物, 在暴露大气后, 便立即变成电阻极大的氧化物等化合物, 再加上气体吸附的作用, 从而使 CEM 的电阻又回复到初始值附近.

4. Cs 蒸汽对 CEM 电子增益的影响 从表 5 可见, 将 CEM 两端敞开引 Cs 会使增益降低到低于 10^7 数量级以下. 这是由于 Cs 进入 CEM, 使其二次发射能力下降的缘故. 用镍帽将 CEM 两端封闭, 则起了明显的保护作用.

表 5 引 Cs 后 CEM 电子增益的变化

Tab. 5 Changes in electron gain of CEM after treatment with Cs

管号	初值 G_0 ($\times 10^8$)	封闭引 Cs 后			敞开引 Cs 后			暴露大气后 $G(\times 10^8)$
		时 间 (min)	$G(\times 10^8)$	G/G_0 (%)	时 间 (min)	$G(\times 10^8)$	G/G_0 (%)	
1	0.63				<30	0.06	9.5	
7	0.75				65	<0.14	<18.7	0.29
6	0.75	105	0.26	34.7	58	<0.11	<14.7	
4	1.13	70	1.06	93.8	55	<0.28	<24.8	0.5
5	0.93	180	0.69	74	90 (Cs 不足)	0.69	74	0.83

由表 5 可见, CEM 在引 Cs 增益下降后再暴露大气, 增益也有所回升, 但比引 Cs 前的初值要小得多. 看来暴露大气后表面上形成的化合物层有较高的二次发射能力, 虽对增益回升有贡献, 但仍然赶不上原来清洁表面的二次发射本领. 这也可能是由于表面吸附气体的影响所致.

从上可见, CEM 必须完全避免 Cs 污染, 才能保证增益不受影响. 例如可以采用真空传递的办法, 把 Cs 作用空间与 CEM 隔离开. 也可采用严密封闭 CEM 两端管口的办法.

(三) 结论

1. 真空烘烤对于稳定 CEM 的电阻值和提高 CEM 的增益是必不可少的.
2. 从 200°C 或稍高的某一定烘烤温度开始, 在一定温度范围内, 烘烤后 CEM 的电阻不随所经受烘烤温度的高低而变化, 即出现稳定情况. 这就是可逆变化情况, 即烘烤时温度升高引起的电阻变化在降温后又回复到原来值. 可逆变化向不可逆变化转变的温度, 亦即稳定范围结束的温度在 250°C 或稍高.
3. 较高的增益有与电阻的稳定范围同时出现的趋势. 因此可以通过监测稳定电阻出现的时刻来选择烘烤温度, 以获得较高的增益. 这是有实用意义的.

4. 在 300°C 烘烤引起的电阻变化相对于稳定值不大于 3%。增益也比其最大值有所降低。而在 350°C 烘烤引起的电阻升高在稳定值的 20% 以内, 增益则降低更多, 但一般仍不低于未烘烤时的值。

5. Cs 蒸汽使 CEM 电阻大大降低。最多的降到初值的 1/4。增益则降低更多, 甚至降到原值的 1/10 以下。

6. 为尽量减少 Cs 蒸汽对 CEM 电阻和增益的影响, 除最好用真空传递法外, 还可采用以下办法, 即尽量缩短引 Cs 时间和严密封闭 CEM 两端管口。

本项实验得到陶兆民同志的指导。张多明和王毓华同志提供了 CEM 样品和测量仪器, 并参与了部分测量工作。石文栋等同志在实验管的制作中也给予了大力协助。在此一并表示感谢。

参 考 文 献

[1] S. H. Siddiqui, IEEE Trans. on ED, ED 26 (1979), 1059.

INFLUENCE OF BAKE-OUT AND Cs VAPOUR ON SOME PROPERTIES OF CHANNEL ELECTRON MULTIPLIER (CEM) IN VACUUM

Li Xing-shi

(*Institute of Electronics, Academia Sinica*)

In this paper, the changes of the resistance and the electron gain of the CEM after bake-out at different temperatures and treatment with Cs are examined. It is found, that the transition temperature of the resistance from reversible change into irreversible is 250°C or higher. A method of determining the optimum gain of the CEM during heating by means of measuring the resistance changes is proposed. The damaging action of Cs to CEM is investigated and proper protecting means is proposed. It is shown, that the method of covering two ends of the CEM with nickel caps is an effective one for preventing the CEM from being damaged by Cs during Cs treatment.