

电阻器与电容器文集

(新技术、新材料)

上海市仪表电讯工业局技术情报所
上海无线电一厂編譯
上海市科学技术編譯館

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本书选译了1958~1960年国外有关的期刊中17篇有实用参考价值的論文,介紹无綫电元件中电阻器和电容器的新技术和新材料,对新的介质材料作較多的报导。这些論文的中心主要是討論如何运用新技术和新材料来縮小元件的体积和提高效率的問題,并且結合无綫电机件的新結構式样和元件的微小化技术作了詳細的論述。

本书适合无綫电工业技术人员作参考。

电阻器与电容器文集

(新技术、新材料)

上海市仪表电訊工业局技术情报所
上 海 无 綫 电 厂 編譯
上 海 市 科 学 技 术 編 譯 館

*

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

上海市书刊出版业营业許可証出093号

新华书店上海发行所发行 各地新华书店經售

商务印书館上海厂印刷

*

开本 350×1168 1/32 印張 6 字數 137,000

1962年7月第1版 1962年7月第1次印刷

印數 1—8,000

統一书号: 15119·1672

定 价: (十二) 0.86 元

目 录

前言

热分解碳膜电阻器的性能	1
基体瓷梗对碳膜电阻器电特性的影响	11
印刷电路的电阻器	23
小型漆膜电容器	39
可用在 500°C 温度下的氧化铝电容器	44
纸介电容器的新浸渍法	46
介质吸收测量	67
测定聚合物介电常数与介质损耗角的最新试验方法	70
离子型介质的介电常数在宽广温度范围内的温度关系	77
云母厚度影响体积电阻率的计算	84
聚合物的结晶对介质损耗的影响的研究	86
关于介电常数为 80,000~100,000 的强性陶瓷的初步报导	94
新绝缘材料及其用途	97
最薄的接合绝缘膜	133
微小型化的材料和技术	145
微小型化的新结构式样	168
微小型化电路发展方向	178

热分解碳膜电阻器的性能

R. H. W. 伯吉特

热分解是指碳的化合物在高温时的分解，热分解碳膜电阻器就是利用这种原理制造的。

电阻器的结构

碳膜电阻器的结构型式是大家熟悉的，即在瓷梗上被复着热分解的碳膜。瓷梗的两端装着罩帽，或用其他方法与碳膜保持接触。碳膜上刻着螺旋形槽纹，使电阻器的阻值达到所需要的数值。电阻器外层是用清漆或聚合树脂保护着，或者用不渗透的材料如玻璃或陶瓷做外套。较普通的规格是2瓦以下，尺寸最小的电阻器约长为1/16吋，直径为1/4吋。

一般使用的误差等级有5%、2%及1%，较精确的误差只有在一定的特殊环境下才可能。

这种电阻器的稳定度一般为1%，广泛地应用在对误差及稳定度要求为1%的电路中，其优点是其参数的控制较碳质合成电阻器来得容易。这种电阻器能用在分压电路中，它的分压比在温度与所施电压变化幅度很大的情况下，仍能保持常数，这点，是碳质合成电阻器所达不到的。

从10到100千欧的阻值范围内，碳膜电阻器稳定性要求能满足0.1%，而可靠性可以高达0.01%。这些电阻器的质量主要决定于所组成的材料，特别是所用的瓷梗、碳膜层及保护涂料。

沉 碳

将瓷梗放在含有碳的气体中加热到1000°C左右即生成碳膜层。一般采用碳的有机化合物沉积在瓷梗表面上，成纯碳薄膜层。

它的物理性质与石墨很接近,所不同的是这种碳膜层不会被擦掉,同时也不会再在紙上画出痕迹。用电子折射法来对碳膜层进行檢驗时,发现60%呈結晶体,而40%呈顆粒状。提高热分解温度可略微增加結晶体所占的比例,这样,对碳膜层稳定性有所改善,但温度系数反而变差。

实际上,任何一种揮发性的飽和有机化合物均可采用。不飽和的化合物象乙炔将会变成烏黑及軟的沉碳薄膜。脂肪质的和芳香的碳氢化合物象甲烷、石油、醚、苯、醇、酯及乙烯酮等俱有同样沉积的效果。

沉碳可以在真空的炉中进行,也可以充以惰性气体。后者看来似乎能降低温度系数,不过涂层的均匀性不好。如果这困难能够加以克服,那末这两种方法沒有多大区别。

瓷梗材料的选择要在高温时完全不起化学作用及不呈軟化現象。同时亦应含有不与表面所沉的碳层相化合的硅。經驗証明,如果不含有硅,沉积就会形成不調和及不够稳定。瓷梗表面的結構必須是均匀而細密的,不应有伤痕及污染。往往由于生产时不注意清洁,产品的质量将受到显著的影响。此外,瓷梗的构成,除了要求含碱性愈低愈好外,沒有其他特殊要求,关于这点,以后将要提到。

电阻器的保护涂层有着双重作用:防止在儲藏、携带及装配过程中被碰伤,同时防止潮湿侵蝕碳膜层。这点如不能滿足,薄膜将吸收水分而分解,以致损坏。最常用的保护层是清漆,对清漆的要求是很严格的,它至少能耐200°C高温,因为碳膜层在这个温度下仍旧是稳定的。碳膜不能与漆起任何化学作用以及固化变形而致损坏。

刻槽的方法

在碳膜上刻螺旋形槽来增加阻值,这是在沉碳程序后的一个关键步骤。一般是在刻槽机上用薄的碳化硅砂輪片进行。闊的槽所用的砂輪片一般在0.02~0.03吋厚,細的槽所用的砂輪片最薄

一般用到 0.008 吋。曾經用过钻石砂輪片，但并未发现有显著的优点。因为槽距的上限并没有限制，所以沒有刻槽的电阻器亦能使用，这有特殊的优点，就是电感量比較少。最狹的槽距一般决定于輪片的厚薄及刻槽的方法，或者是在其他設備上来进行。每吋 60~70 个节距是一般使用的最高极限，一般不希望超出这个极限，因为槽的节距为 0.014 吋，而輪片厚为 0.008 吋，因之，碳膜的闊度只有 0.006 吋。由于导电碳膜部分太狹，很难保証沒有伤痕，这些伤痕会引起局部的电阻率变成不規則化，就要注意到有可能损坏的部分。如从可靠性来考虑，建議采用比較闊的节距。

电阻器阻值的增加与每吋槽的圈数几乎成平方比。因而大都趋向于将槽刻得很細，而采用較厚的碳膜。这样制成的电阻器，温度系数比較低，同时在潮湿的空气下，經长时期負載也比較穩定。这样的改进是在降低了原有的可靠性而获得的，除非是有預防的措施，否則，可靠性的降低将达到不能允許的程度，因此，这种办法并不理想。根据經驗总结，由于刻槽而除去的碳层，不能超过百分之五十。

接触帽与焊接的影响

在碳膜层与压紧接触帽之間的电阻值，可以高达几个欧姆，且是不稳定的，会受到外界因素，例如温度等而改变。对低阻值电阻器而言，由于接触电阻的影响，它的基本穩定性誤差已有 0.1%。采用旋轉式的接触帽，由于它比压紧式的接触帽具有較大的接触压力，故能有很好的效果，它的接触电阻一般能維持在 0.2 欧之內，所以对 100 欧以上的电阻器，这个影响是完全可以忽略不計的。对特別低阻值的电阻器，可以利用噴涂或电解沉积金属的方法来减低接触电阻。将引出綫与接触帽鉚紧的方式，会产生高的噪声电平，或引起間歇开路情况。虽然利用錫焊的方法，能获得較好的电气接触性能，但当电阻元件在焊接时，引出綫会发生脫落現象。所以引出綫与接触帽間的連接，既要利用机械固定，再要进行焊接。

由于电解而引起的质量下降

造成热分解碳膜电阻器损坏的主要原因是电解。形成电解的原因是由于碳膜受到潮湿的侵蚀，或基体上产生电离电流的关系。碳膜层能够吸收部分的湿气，但它所引起的破坏作用并不是主要的，但当电压加于受潮电阻器之任何部分时就引起较大的作用。这也就是碳膜保护涂料所以十分重要的原因。一般保护层的种类是从薄的漆层到塑料制成厚而坚固的外壳。有机材料对潮湿并不是完全不渗透，由于潮湿扩散通过了有机材料而被吸收。虽然渗透率及吸收率在一般情况下可以忽略，但由于碳膜层很薄，所以对这种类型的电阻器来说，是一个很重要的因素。

可以利用无机材料的渗透率及吸收率来计算保护的程度：

设 D = 渗透系数， P = 设备的气体压力， t = 时间， x = 距离，

α = 吸收系数， $K = \text{渗透率} = \frac{D}{\alpha}$ 。

对单方向潮湿渗透的一般公式为

$$K \cdot \frac{d^2 P}{dx^2} = \frac{dP}{dt}$$

值得注意，这公式与热传导公式是相似的，可用同样方法来求解。不同的周围条件所得的结果也不同。当材料在完全饱和的情况下所得到的解答是不准确的。因此仅适用于开始渗透的情况下。当保护层表面处在饱和的情况下，经过一定时期后，潮湿达到碳膜层，这段时间可以用下面公式来计算，它是正比于

$$x(2K)^{-\frac{1}{2}} \quad \text{即} \quad x\left(\frac{\alpha}{2D}\right)^{\frac{1}{2}}$$

因之，所选择的材料应当具有高的吸收系数及低的渗透系数，这样才能获得最大的保护效果。

已经很清楚地认识到，有机材料并不能防止潮湿侵蚀，而只能延迟侵蚀的时间。理想的情况是保持渗透系数最小，而吸收系数最大。但当吸收系数太大时，可能引起清漆较大的变形，因这种原

因所引起的电阻变值,虽然直接与水接触,遭受损坏的时间相反还延迟一些。同时亦看出保护层愈厚,则延迟时间亦愈长。

利用符合要求的清漆作保护层的厚度约 0.004 吋,可适用于最高阻值的碳膜电阻器,在 35°C 温度下,放在潮湿空气中几千小时,并没有完全渗透进去引起电解现象,使薄膜受到严重的破坏。在这种情况下,对中等阻值及低阻值的电阻器(即电阻率为 1000 欧/平方吋),所希望能耐受的时间为 10,000 小时。在高温情况下,由于渗透系数主要是决定于温度条件,因之,损坏的过程显示得特别快。在温度与湿度较低的情况下,寿命试验的时间较长。当所用的塑制保护外壳的厚度增加十倍时,则在进行上述程序试验时,预期寿命亦增加十倍。

无疑地,利用玻璃或陶瓷外套密封起来是最好的保护方法。这种方法的成本较高,而它的体积很大,同时亦很脆,一旦玻璃或陶瓷受到损伤,电阻器将会很快地损坏。但是湿气通过树脂的过程究竟还是慢的,因之就成为惯常采用的方法。

在瓷梗中,因离子电流亦能产生电解作用,它的效应是很敏感的。由于它在一般情况下不易被发现,所以是很危险的。碱离子的活动率很高,而且是随温度增加而增加,离子的数量亦会随着温度的升高而增加。因而在正常温度下,瓷梗是比较稳定的,当温度增加时,离子电流有显著的增加。由于这种原因所产生的电离现象,特别在高温下更易发生,结果在电阻器正端上的碳层逐渐地被除去,推测上述的结果是碳层被新生的氧所氧化。这样发展的结果,使电阻器阻值增加到极限而呈开路现象。这种效应随着碳膜厚度的减小而增加,所以必须将瓷梗含碱量降低到 0.1% 以内,这种效应的大小才可以忽略不计。

碳膜的氧化

碳膜电阻器另外一个经常引起变质的原因是由于碳的氧化。在室温时,它是不易察觉的,但在 300°C 时则氧化速度甚快。当碳膜厚度为 $100\text{\AA}$ 时,在 300°C 时氧化速度可以将大部分的碳层在

1 小时内除去。在 250°C 时, 百分之五的厚度可在 100 小时内除去, 若将温度继续递减, 可有显著的改善。如电阻器的寿命要求达到 100,000 小时, 碳膜电阻器的氧化速度除非是可忽略不计外, 否則是很重要的, 所允许的最大偏移是每 1000 小时 0.05%。低阻值电阻器应不超过 100°C , 高阻值电阻器相当的温度约为 70°C 。因而, 要求有一定稳定性的电阻器, 提高允许工作温度是该电阻器阻值的函数。图 1 所示即这种关系, 图 2 表示当电阻器在室温中, 长时期满负载情况下的电阻器阻值变化情况。当碳膜电阻器放在惰性气体中, 加温到炽热时, 并维持一很长时期, 发现电阻器并没有

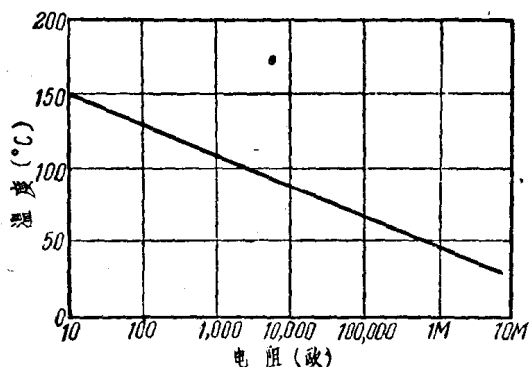


图 1 偏移率小于每 1000 小时 5% 的最大表面温度

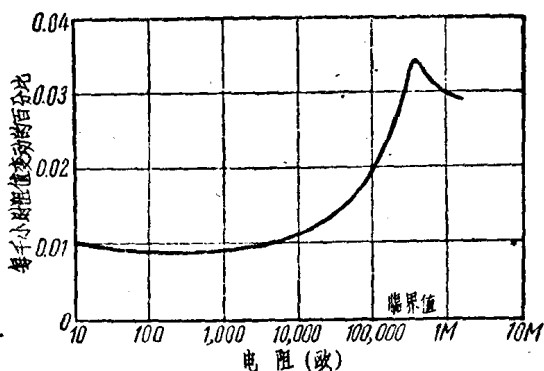


图 2 长期负载的稳定度。瓷梗尺寸为 4.4×15 毫米;
在室温下所加负载为 1/2 瓦 (额定电压 350 伏)

变质,说明单单是温度并不足以使电阻器在高温时损坏。

当已掌握到起始稳定性变化时,前面所述的长时期负载的影响则是很重要的。起始稳定性是随着不同工作条件而变化,图4是在室温下一般负载的情况。这些变化,一般对低阻值是维持100小时,高阻值则是1000小时而求出的。

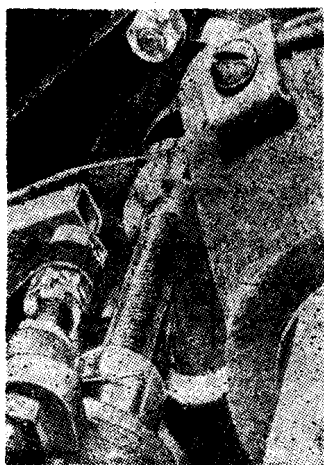


图3 电阻器刻槽的情形

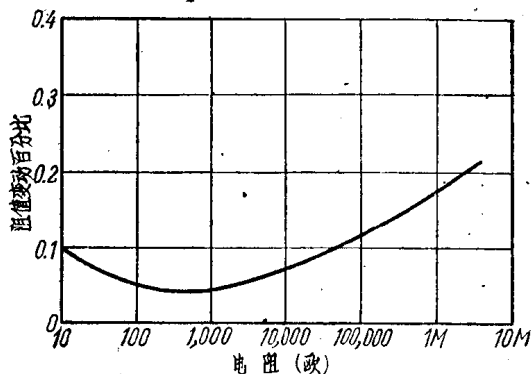


图4 初始负载稳定度。瓷梗尺寸为 4.4×15 毫米;在室温下所加负载为 $1/2$ 瓦

电阻器所有的一些不正常性能,对低阻值来说,由于刻螺旋形槽存在着缺陷而引起。对高阻值,则是由碳膜的不规则性所引起。刻槽的缺陷,是由于在刻槽时有剩余的碳屑,在使用时,剩余碳屑形成开路,电阻器阻值就突然增加。

当碳膜层某一点特别薄时,使这点的温度特别高,氧化速度亦随之增加,最后这点被破坏,呈开路现象。如局部沾染了碱性,也会形成同样的现象。所以在制造过程中,应该很仔细地对所有的电阻器进行负载试验。

保证正常性能的试验

在进行负载试验时,损坏率是不同的,低及中等阻值电阻器小于0.1%,而高阻值电阻器可能达到2%。将损坏的电阻器除去后,不可靠性的影响可提高到0.1%以内,采取特殊的工艺,损坏率还

可以进一步地降低。但限于篇幅,不能詳細地討論。經驗指出,很大部分电阻器是在儲存和使用过程中损坏的。

热分解碳膜电阻器如能符合下面一些規定,可以保証正常的性能:

(1) 所有电阻器不論是在制造时或者在进行装配之前,必須进行負載試驗,以减少损坏和降低起始偏移。

(2) 温升愈小愈好,特别是对高阻值的,尽可能地用大功率电阻器。

(3) 在长时期偏移后,起始偏移的容許值是重要的因素。

在图 5 中可以看出,直到电阻率为 2000 欧/平方的范围内,相当于碳膜厚度約 $100\text{\AA}$, 温度系数能保持常数——百万分之二百。

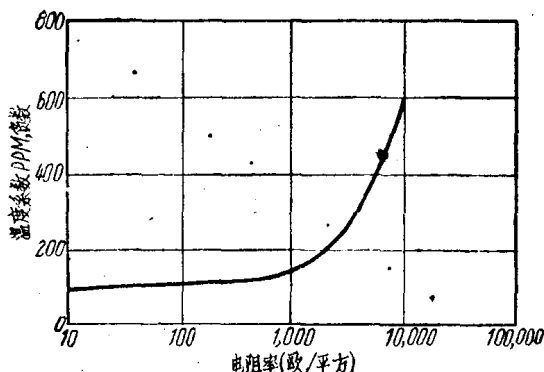


图 5 热分解碳膜电阻器的温度系数和电阻率的范围

介于这个阻值以上,温度系数将会很迅速地增加,薄膜呈透明状。其他的参数在这点亦有显著的变化,如图 6 所示超过这个电阻率的电阻,将会不稳定及不可靠。如需要高度的可靠性,則建議薄膜的厚度应大于 $100\text{\AA}$ 。但这并不就是說,較高阻值的电阻器就不稳定,而是必須在使用前应經過稳定过程。除此之外还須注意的,就是它具有高的温度系数及噪声电平。

下表是軍用电阻的式样,同时将 ROL-112 中所規定的极限规范亦列出作为参考比較。从另外方面来考虑,特别是在低阻值范围,应该增加功率額定值,但对所施电压的极限是无需顾虑的。建

議在呈現的电压极限保持不变时可以增加功率額定值,或是相反地呈現的功率不变而电压极限增加。在这两种情况下,临界值同样增加,当周圍环境温度为 70°C 时所示的临界值是較低的。

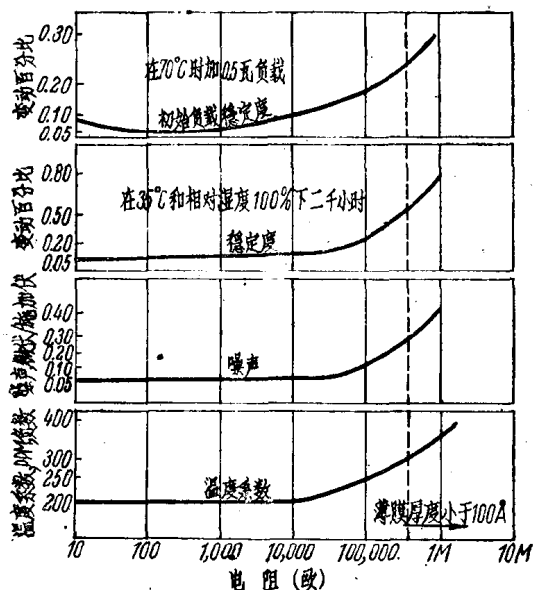


图 6 热分解碳膜电阻器的一般情况

热分解碳膜电阻器的額定功率及阻值范围和 RCL-112 的比較

軍用代号	額定功率 (瓦)	最高电压 (伏)	RCL-112 指 定的阻值范围	RCL-112 的临 界值 (滿負載时 加用最大阻值)	正常性能的范围
RC2A	1.5	800	10欧~10兆欧	427 千欧	10欧~4兆欧
RC2B	1.0	400	10欧~10兆欧	160 千欧	10欧~2兆欧
RC2C	0.75	300	10欧~10兆欧	120 千欧	10欧~1兆欧
RC2D	0.5	200	10欧~10兆欧	80 千欧	5欧~500千欧
RC2E	0.25	150	10欧~5 兆欧	90 千欧	5欧~200千欧

根据 RCL-112 所規定的电阻器范围是很广泛的,但必須注意,要使稳定度高达 4%,就要对最高的阻值进行一定的試驗。这个表一般是对高的阻值过分偏見,而对較低的阻值則不太恰当。最后一行所示这些規格范围,在一般正常情况下,利用厚度为 $100\text{\AA}$

或大于 $100\text{\AA}$ 的薄膜,就很容易制成,并能获得所要求的稳定及可靠性能。如果需要,可将上限乘上 2 来加以扩展,利用細的螺紋节距同时在生产过程中加以严格的負載試驗。

結 論

影响热分解碳膜电阻器性能的主要因素已討論过,同时也指出当薄膜厚度超过 $100\text{\AA}$ 时,这些因素的影响是很小的。很多規格的电阻器都能采用这种厚度的薄膜,同时这些电阻器都可以认为是相当稳定与可靠。超出这些范围的电阻器,生产时必须經過特别的处理及注意。假使由于各种因素所引起的变化,认为是附加的,可以看出,在适宜范围内全部稳定性最好在 1% 以内,說明目前的規格对这部分范围内这些电阻器來說是不完全恰当的。

(李郁文譯自《英国通訊与电子学》1959 年 4 月号,周紹校)

基体瓷梗对碳膜电阻器电特性的影响

野村 彰

关于基体瓷梗对碳膜电阻器电气性能的影响，已有其他的研究家們作了介紹。但是关于瓷梗中的碱性成分的容許值以及鈉离子、鉀离子对負荷寿命的影响，瓷梗在高温及高湿下的絕緣电阻和化学組成及其他关系，电阻器的温度系数以及电流噪音和瓷梗及其表面处理的影响等，他們的研究都还不够明确。著者由于瓷器制造厂和电阻器制造厂的协作，得到了研究这些問題的机会，但是不明确的地方还很多，这里仅作一部分的报告。

1. 瓷梗的一般性能

瓷梗的表面状态

对瓷梗的性能虽有各种不同的要求，但其中以瓷梗表面的物理性能和化学性能特別重要。如果在瓷梗的表面上有裂紋、坑洼、沟、条痕和其他的伤痕，在这些地方所分解的碳膜是不牢固的。瓷梗的表面，一般使用平滑得象完全的玻璃状是必要的，但有时，特别是在碳膜厚时，为了能較牢固地附着，也可使用多孔质的或是表面稍微粗糙的瓷梗。

碳膜不是同瓷梗化学地結合着的，而仅是机械地附着于瓷梗的表面，因此很明显，瓷梗表面的形状是很重要的。在瓷梗表面上，为能使碳膜堅牢附着，所以瓷梗表面粗糙的程度要适应于碳膜的厚度才行。为了达到这一目的，一般是将瓷梗表面用氫氟酸来进行腐蝕。

瓷梗的表面即使在物理性能上是很完整的，但也不一定能够得到很完整的碳膜。这是由于在瓷梗的表面上散布着起催化作用

的杂质,因此,在这些部分所沉积的碳膜厚度及物理性质就有所不同。譬如在瓷梗表面上有铁和其他的重金属,或这些金属的氧化物时,所分解的碳膜就成为一種柔軟的煤烟状的不完整的东西。此外,或因对沉碳前的瓷梗管理不当,或因在瓷梗表面上附着灰尘或沾有指紋等,在这部分沉上的碳膜也会不完整,特別是指紋更觉得特別明显,这是由于指紋內所含的盐类阻碍了碳的分解的緣故。

瓷梗的組成

碳膜电阻器用的瓷梗必須是优良的絕緣体,特別是在高阻刻槽时更为重要。在制造高稳定性电阻器时,对瓷梗原料的选择格外要注意。在精选的高岭土、各种粘土类及石英粉內混入长石助熔剂,以湿制法制成的一般的电气用的瓷梗,在外表上看,表面是很完整的,而且碳膜也固着得很牢,但是这个瓷梗在高温时,瓷梗“玻璃相”中的碱离子的移动性非常大,因此,碱离子受着电場的影响后容易移动,于是在已刻槽碳膜的低电位端,它同碱离子起电化学的作用,阻值就半永久地变化起来。象这样的电化学的現象,如将瓷梗进行化学分析的話,是同瓷梗內含碱量有密切关系的。为了消除这种現象,用不含碱的新瓷梗作为碳膜电阻器的基体,已进入了实用阶段。

这类瓷梗,日本在几年前已开始实用,称为特殊瓷梗,本质上大部分同一般的瓷梗无差別,只是除了少量的鈉、鉀以外,还使用了鎂、鈣、鋇、鋇等碱土金属的氧化物作为助熔剂。碱土金属的离子半徑要比碱金属的离子半徑大,离子几乎沒有移动,因此用在高温非常适宜,如同后述,它的比阻高,介质損耗也比較小。

瓷梗的其他性质

象在日本夏季比較高温、高湿的地方,除上述条件外,还特別要求瓷梗的吸湿性要小,高湿中的絕緣电阻要高。为此,要用細密的瓷梗,表面的性质要有不使碳膜的粘着力降低的平滑程度。

制造碳膜电阻器时，碳膜的热分解是在 1000°C 左右时进行的，所以在这个温度左右，瓷梗必須不发生軟化或变形，而且瓷梗的膨脹系数必須同碳膜的膨脹系数約略相等，这些都是取得牢固的碳膜所必要的条件。再則，如将沉碳后的阻值調整到所要求的高阻值，須将沉好碳的瓷梗进行刻槽——切割成螺紋似的槽，因此，瓷梗的硬度必須适当而不妨碍刻槽的进行。

2. 基体瓷梗对負荷寿命的影响

高温負荷寿命

高温下的碳膜电阻器負荷寿命的长短，主要是由瓷梗中所存在的碱离子含量所支配的。表1是日本的有代表性的碳膜电阻器及試制电阻器上所使用的瓷梗的化学分析值，图1是使用这些瓷梗制成的电阻器的高温負荷寿命的示例。如将表1和图1的結果归納在一起，可得出以下的結論：

表1 碳膜电阻器所用瓷梗的化学分析表(32.12)重量(%)

瓷 梗 成 分	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	66.5	72.8	66.4	56.9	66.5	50.2	51.2	63.5	55.4	66.9
TiO ₂	0.27	0.18	极少	同左	0.23	—	—	—	—	—
Al ₂ O ₃	28.0	21.1	28.3	31.3	22.5	44.6	38.2	27.8	30.0	29.4
Fe ₂ O ₃	0.26	0.38	0.42	0.20	0.84	—	—	—	—	—
MgO	—	—	—	—	—	0.3	0.4	0.2	2.0	0.2
CaO	0.98	0.72	0.94	3.71	0.32	0.2	0.2	0.2	3.0	0.4
BaO	极少	同左	同左	4.11	8.04	4.0	12.0*	6.4	6.8	0.5
K ₂ O	2.15	2.69	1.95	0.87	0.47	0.4	0.5	0.6	0.8	1.4
Na ₂ O	1.70	1.52	1.64	0.81	0.91	0.2	0.5	0.7	0.4	1.3
委托分析单位	名古屋工业技术試驗所					岐阜县陶器試驗所				

(注) 1. 1~5 是在电阻器使用的瓷梗。6~10 是試制品。

2. 4、5、6、7、8 和 9 是低碱瓷，其他是长石瓷。

3. 5 及 8 是同一系統の瓷。

4. * 标记是推测含有其他成分的。

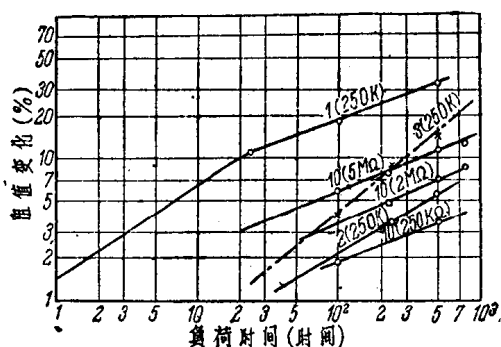


图1 碳膜电阻器的高温负荷寿命 (RD-1/2L型)

〔注〕瓷梗4、5、6、7、8、9的阻值几乎没有变化，试验状况一周围温度70°C，相对湿度50%以上，直流350伏间断负荷，5个平均值

(1) 氧化钠和氧化钾都是以氧化物的形态表现出碱成分的，二者之和大致在1.5%以下时（重量比），高温负荷所引起的阻值变化极小。

(2) 氧化钠和氧化钾的含量，以后者比较多些，但在日本的瓷梗中，二者几乎相等。

(3) 氧化钠比氧化钾在高温负荷寿命上影响要大。

将钾、钠成分极端地减少，这从瓷梗原料的精选上来说，或从瓷梗的制造上来说，都存在着种种问题。因此，采取过去的长石质

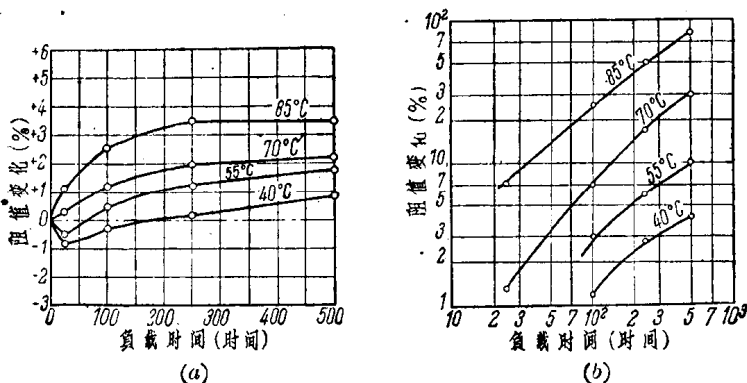


图2 温度对碳膜电阻器负荷寿命的影响

直流350伏连续负荷，5个平均值，RI-1/2P（特殊P型）5兆欧

(a) 使用低碱质瓷梗的（瓷梗4）

(b) 使用长石质瓷梗的（瓷梗1）