

最深入最经典的电容剖析

第 1 页：前言关于电容我们不是在忽悠

你知道显卡为什么会花屏吗？

没错，你肯定听说过“主板爆浆”，或者你还在对商家唾沫横飞的“专业分析”深信不疑？但您知道“爆浆”为什么会发生，而爆浆产生的环境、条件、原理又是如何？

你可能也被主板或显卡花屏所困惑，你知道罪魁祸首很可能是那个最不起眼的电容吗？

当睡在你上铺的兄弟告诉你“铝电容就是比电解电容好，OSCON电容比铝电容好”，而你为此对他丰富的硬件知识佩服不已的时候，你是否会怀疑，这句话其实相当于：“摩托罗拉手机就是比 GSM 的手机好”——**因为 OSCON 电容其实是铝电容的一种，而铝电容又是电解电容的一种**。虽然这很可笑，但是你听不出来，因为你不像了解手机那样了解电容。

当你告诉他铝电容其实就是电解电容的一种，甚至他推崇有加的钽电容其实也是他最看不上的“电解电容”的一种的时候，您一定能让你上铺那位兄弟感到尴尬。但真理是越辨越明，你有丰富的知识，那他只能选择沉默。而事实并不仅仅如此，当你看完本文后，能被你搞沉默的人绝对不止上铺那位兄弟，也许还包括那些试图玩点猫腻的奸商——在中国能做到这点就很 NB 了。

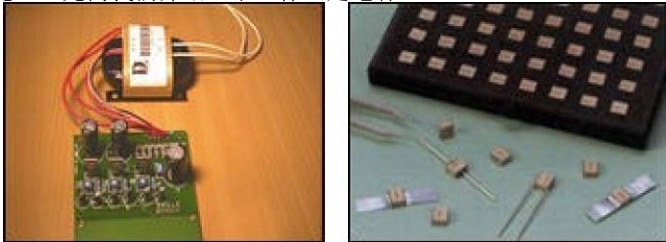
因为我们相信你并不是那种仅仅满足于用半瓶子醋的 DIY 知识骗几个 MM 和菜鸟的“DIY 玩家”，所以我们很真诚地邀请您阅读这篇有史以来 IT 媒体中最专业的关于电容的文章。

请相信，我们不是在忽悠。

第 2 页：入门什么是电容？在开始之前我们还是先向大家介绍一下本文的行文格式。为了方便大家阅读，本文由 PCPOP 编辑——小地，和业内资深的硬件专业人士——万鹏先生以对话的形式进行。本文的主体内容均由万鹏先生提供。

万鹏简介：95 年开始接触显卡，97 年开始在《电脑报》、《微型计算机》上发表文章，99 年进入耕宇公司，目前任职耕宇公司市场部，PCPOP 技术顾问。曾用笔名：ECLIPSE、INTENSE、万大善人。

小地：OK，万鹏先生，先向我们介绍一下，什么是电容？



电容是最基本的电子元器件

万鹏：电容就是两块导体中间夹着一块绝缘体构成的电子元件，就像三明治一样。电容是电子设备中最基础也是最重要的元件之一。电容的产量占全球电子元器件产品（其它的还有电阻、电感等）中的 40%以上。基本上所有的电子设备，小到闪存、数码相机，大到航天飞机、火箭中都可以见到它的身影。作为一种最基本的电子元器件，电容对于电子设备来说就象食品对于人一样不可缺少。

小小一颗电容却是一个国家工业技术能力的完全体现，尤其是高档电容所代表的是本国精密加工、化工、材料、基础研究的水平（美国、日本是世界上电容设计研究能力最高的两个国家）大家千万别小看它，其高档产品的设计制造要求甚至不亚于 CPU。同样是这棵不起眼的电容，上到神五，下到 U 盘，可以说有电源的地方就有它。



电容是无处不在的

电容的用途非常多，主要有如下几种：

- 1 隔直流：作用是阻止直流通过而让交流通过。
- 2 旁路（去耦）：为交流电路中某些并联的元件提供低阻抗通路。
- 3 耦合：作为两个电路之间的连接，允许交流信号通过并传输到下一级电路
- 4 DIY而言很重要，显卡上的电容基本都是这个作用。
- 5 温度补偿：针对其它元件对温度的适应性不够带来的影响，而进行补偿，改善电路的稳定性。
- 6 计时：电容器与电阻器配合使用，确定电路的时间常数。
- 7 调谐：对与频率相关的电路进行系统调谐，比如手机、收音机、电视机。
- 8 整流：在预定的时间开或者关半闭导体开关元件。
- 9 储能：储存电能，用于必须的时候释放。例如相机闪光灯，加热设备等等。（如今某些电容的储

能水平已经接近锂电池的水准，一个电容储存的电能可以供一个手机使用一天。

小地总结：看完这章，大家可能开始对电容感兴趣了。

第 3页：认知电容的种类

小地：看完上一章之后我们对电容已有了基本的了解，那现在我们再深入一点，请介绍一下如今电容的种类好吗？我们常听说什么铝电容，钽电容… …，能不能为我们系统地介绍一下电容的分类呢？

万鹏：刚才我们说过，电容就是两块导体（阴极和阳极）中间夹着一块绝缘体（介质）构成的电子元件。电容的种类首先要按照介质种类来分。这当中可分为无机介质电容器、有机介质电容器和电解电容器三大类。不同介质的电容，在结构、成本、特性、用途方面都大不相同。



 陶瓷电容常用在超高频器件例如 GPU 上

无机介质电容器：包括大家熟悉的陶瓷电容以及云母电容，在 CPU 上我们会经常看到陶瓷电容。陶瓷电容的综合性能很好，可以应用 GHz 级别的超高频器件上，比如 CPU/GPU。当然，它的价格也很贵。**有机介质电容器：**例如薄膜电容器，这类电容经常用在音箱上，其特性是比较精密、耐高温高压。**双电层电容器：**这种电容的电容量特别大，可以达到几百 f（f=法，电容量单位，1f=1000000 μ f）。因此这种电容可以做 UPS 的电池用，作用是储存电能。说句题外话，如果把地球算做一个孤立导体的话，那么它的容量只有 700 μ f，还不如主板上用的一个铝电容。

电解电容器：由于主板、显卡等产品使用的基本都是电解电容，因此这是我们要讲的重点。大家熟悉的铝电容，钽电容其实都是电解电容。如果说电容是电子元器件中最重要和不可取代的元件的话，那么电解电容器又在整个电容产业中占据了半壁江山。我国电解电容年产量 300 亿只，且年平均增长率高达 30%，占全球电解电容产量的 1/3 以上。

大家别小看电解电容，它其实是一个国家的工业能力和技术水平的反映。世界上最先进的电解电容的设计和生产国是美国和日本，顶级的电解电容器的生产工艺要求非常高，别看我国电解电容产量这么高，可是各项核心技术都掌握在其它国家手里，我国也就能算来料加工的“世界工厂”而已，自主力量还很薄弱，并且生产的产品也都以低档的为主。

小地总结：知道电容的分类后，至少你不会再说什么“铝电容比电解电容好”一类的鬼话了。

第 4 页：深入电解电容的性能特点

小地：我认为电解电容和 DIY 玩家的关系最密切，那么，请继续为我们介绍它吧。

万鹏：在了解电容的分类后，我想大家已经知道，和 DIY 玩家最切实相关的还属电解电容，所以我们接下来主要讲的也是它。首先让我们了解一下电解电容的性能特点，这样我们才能清楚为什么主板、显卡以及几乎所有的计算机设备里面都使用到了电解电容：

电解电容器特点一：单位体积的电容量非常大，比其它种类的电容大几十到数百倍。**电解电容器特点二：**额定的容量可以做到非常大，可以轻易做到几万 μ f 甚至几 f（但不能和双电层电容相比）。**电解电容器特点三：**价格比其它种类具有压倒性优势，因为电解电容的组成材料都是普通的工业材料，比如铝等等。制造电解电容的设备也都是普通的工业设备，可以大规模生产，成本相对较低。目前，新型的电解电容发展的非常快，某些产品的性能已达到无机电容器的水准，电解电容正在替换某些无机和有机介质电容器。电解电容的使用范围相当广泛，基本上，有电源的设备都会使用到电解电容。

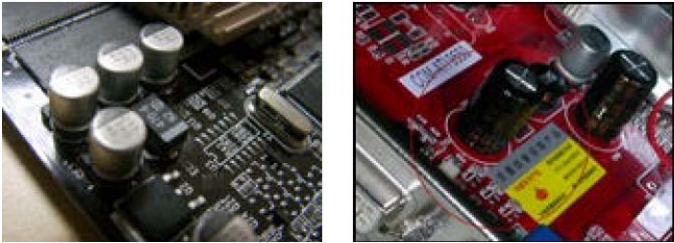
例如通讯产品，数码产品，汽车上音响、发动机、ABS、GPS、电子喷油系统以及几乎所有的家用电器。由于技术的进步，如今在小型化要求较高的军用电子对抗设备中也开始广泛使用电解电容。

小地总结：有电源的地方就有电解电容，它价格便宜，使用在几百上千元的主板、显卡上是再合适不过了。

第 5 页：从铝电容到钽电容透过阳极看电解电容

小地：电解电容如何分类？我们常听一些“高手”说“贴片电容比电解电容好”，“钽电容比贴片电容好”之类的话。能否为我们系统地介绍一下电解电容的分类，以及优劣关系呢？

万鹏：电解电容的分类，传统的方法都是按阳极材质，比如说铝或者钽。所以，电解电容按阳极分，为以下几种：



1. 铝电解电容。不管是 SMT贴片工艺的（上图左，就是大家说的“贴片电容”，识别方式是底坐有黑色橡胶），还是直插式的，或者有塑料表皮的（上图右就是直插式有塑料表皮的，这个被很多人认为是“电解电容”），只要它们的阳极材质是铝，那么他们就都叫做铝电解电容。电容的封装方式和电容的品质本身并无直接联系，电容的性能只取决于具体型号，这个我们后面会详细说明。

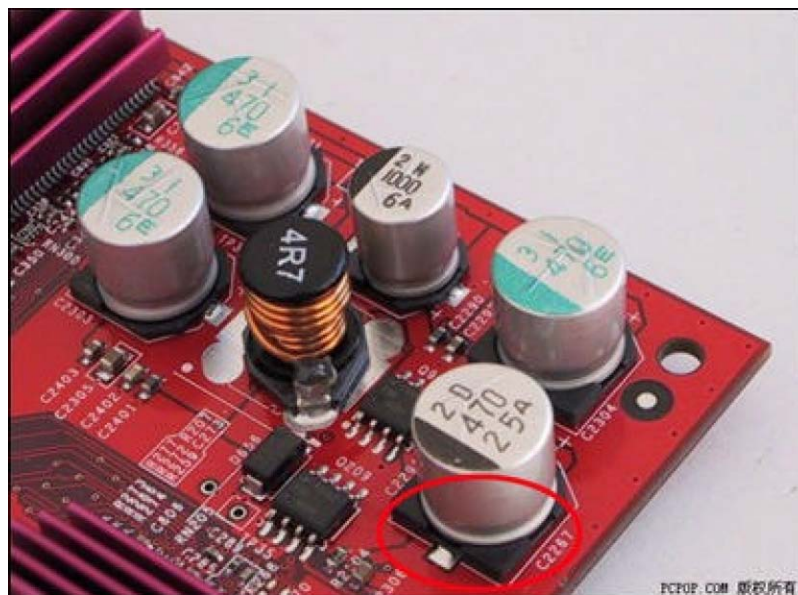


紫色的是 SANYO OSCON TCNQ系列高档电容，采用直插封装

2. 钽电解电容。阳极由钽构成，就是那种我们在显卡上一见到就会惊呼“这个显卡做工真不错！”的那种黄色或黑色小颗粒。目前很多钽电解电容都用贴片式安装，其外壳一般由树脂封装（采用同样封装的也可能是铝电解电容）。但是，钽电容的阴极也是电解质，所以很不幸的，它也是大家十分瞧不起的“电解电容”的一种。（有种晴天霹雳的感觉吧？）。



需要提及的是，铝电解电容和钽电解电容不是由封装形式决定的。像上图的黄色与黑色小方块，通常我们认为其是钽电解电容，但实际其阳极也有可能是铝，也就是说它们也有可能是铝电容而不是钽电容。（第二个晴天霹雳！？）



 是否有橡胶底座，是判断 SMT贴片与直插封装的主要依据

3. 钽电解电容。这种电容如今已经用的比少，所以就不多介绍了。

以往传统的看法是钽电容性能比铝电容好，因为钽电容的介质为阳极氧化后生成的五氧化二钽，它的介电能力（通常用 ϵ 表示）比铝电容的三氧化二铝介质要高。因此在同样容量的情况下，钽电容的体积能比铝电容做得更小。（电解电容的电容量取决于介质的介电能力和体积，在容量一定的情况下，介电能力越高，体积就可以做得越小，反之，体积就需要做得越大）再加上钽的性质比较稳定，所以通常认为钽电容性能比铝电容好。

但这种凭阳极判断电容性能的方法已经过时了，目前决定电解电容性能的关键并不在于阳极，而在于电解质，也就是阴极。因为不同的阴极和不同的阳极可以组合成不同种类的电解电容，其性能也大不相同。采用同一种阳极的电容由于电解质的不同，性能可以差距很大，总之阳极对于电容性能的影响远远小于阴极。

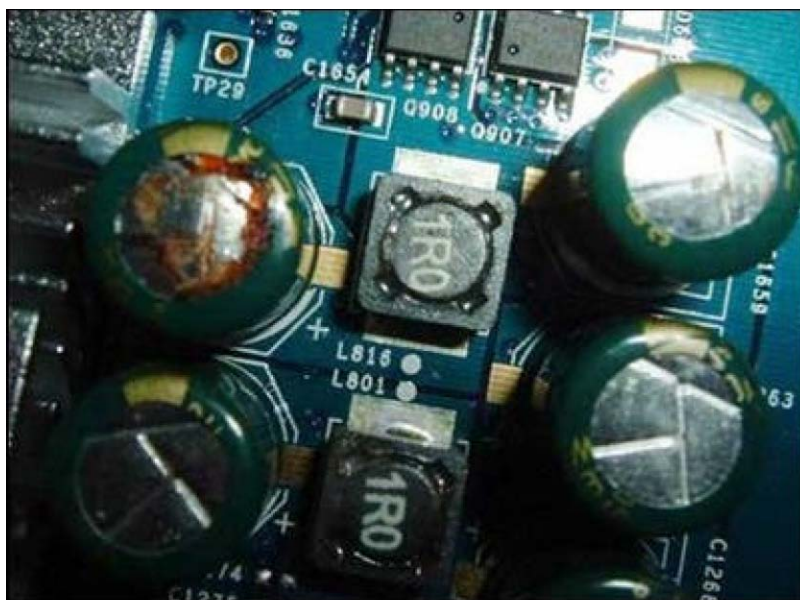
小地总结：大家现在再去看看显卡，眼光可能会有些不同了。


第 6 页：从诺贝尔奖到 NV40 显卡透过阴极看电解电容

小地：现在我们来了解一下电容的阴极。

万鹏：阴极材料是电容的另一个极板，阴极也就是电容的电解质。电容的阴极目前基本有如下几种：

1. 电解液。电解液是最传统的电解质，电解液是由 GAMMA 丁内酯有机溶剂加弱酸盐电容质经过加热得到的。我们所见到的普通意义上的铝电解电容的阴极，都是这种电解液。使用电解液做阴极有不少好处。首先在于液体与介质的接触面积较大，这样对提升电容量有帮助。其次是使用电解液制造的电解电容，最高能耐 260 度的高温，这样就可以通过波峰焊（波峰焊是 SMT 贴片安装的一道重要工序），同时耐压性也比较强。此外，使用电解液做阴极的电解电容，当介质被击穿的后，只要击穿电流不持续，那么电容能够自愈。但电解液也有其不足之处。首先是在高温环境下容易挥发、渗漏，对寿命和稳定性影响很大，在高温高压下电解液还有可能瞬间汽化，体积增大引起爆炸（就是我们常说的爆浆）；其次是电解液所采用的离子导电法其导电率很低，只有 0.01S（电导率，欧姆的倒数）/CM，这造成电容的 ESR 值（等效串联电阻）特别高。



 铝电解液电容爆浆传统铝电解液电容都有防爆槽，这是为了让压力容易被释放，不会发生更大的爆炸。

但某些产品为了节约成本省去了防爆槽的工序。

2. 二氧化锰。二氧化锰是钽电容所使用的阴极材料。二氧化锰是固体，传导方式为电子导电，导电率是电解液离子导电的十倍（ $0.1\text{S}/\text{CM}$ ），所以 ESR 比电解液低。所以，传统上大家觉得钽电容比铝电容好得多，同时固体电解质也没有泄露的危险。此外二氧化锰的耐高温特性也比较好的，能耐的瞬间温度在 500 度左右。二氧化锰的缺点在于在极性接反的情况下容易产生高温，在高温环境下释放出氧气，同时五氧化二钽介质层发生晶质变化，变脆产生裂缝，氧气沿着裂缝和钽粉混合发生爆炸。另外这种阴极材料的价格也比较贵。（和铝电解液电容相比，虽然都是爆炸，可原理却不一样，有多少人能注意到这点呢？）

传统上认为钽电容比铝电容性能好主要是由于钽加上二氧化锰阴极助威后才有明显好于铝电解液电容的表现。如果把铝电解液电容的阴极更换为二氧化锰，那么它的性能其实也能提升不少。

3. 接下来我们就要引出一种革命性的阴极——TCNQ。TCNQ 是一种有机半导体，是一种络合盐。TCNQ 在电容方面的应用，是在 90 年代中后期才出现的，它的出现代表着电解电容技术革命的开始。TCNQ 是一种有机半导体，因此使用 TCNQ 的电容也叫作有机半导体电容，例如早期的三洋 OSCON 产品。TCNQ 的出现，使电解电容的性能可以直接挑战传统陶瓷电容霸占的很多领域，使电解电容的工作频率由以前的 20KHZ 直接上升到了 1 MHZ。TCNQ 的出现，使过去按照阳极划分电解电容性能的方法也过时了。因为即使是阳极为铝的铝电解电容，如果使用了 TCNQ 作为阴极材质的话，其性能照样比传统钽电容（钽 + 二氧化锰）好得多。TCNQ 的导电方式也是电子导电，其导电率为 $1\text{S}/\text{CM}$ ，是电解液的 100 倍，二氧化锰的 10 倍。

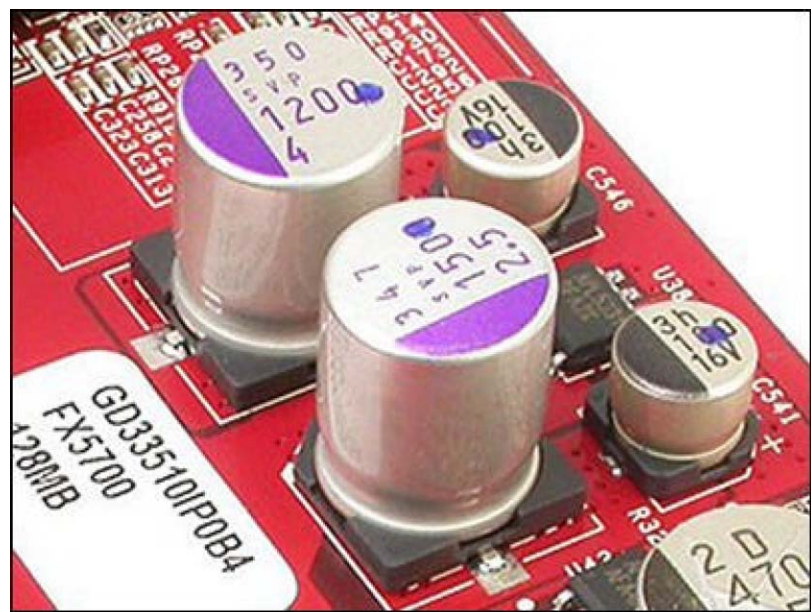


🟡紫色为 TCNQ 电容（SANYO）使用 TCNQ 作为阴极的有机半导体电容，其性能非常稳定，也比较廉价。不过它的热

阻性能不好，其溶解温度只有 230-240摄氏度，所以有机半导体电容一般很少用 SMT贴片工艺制造，因为无法通过波峰焊工艺，所以我们看到的有机半导体电容基本都是插件式安装的。TCNQ还有一个不足之处就是对环境的污染。由于 TCNQ是一种氰化物，在高温时容易挥发出剧毒的氰气，因此在生产和使用中会有限制。

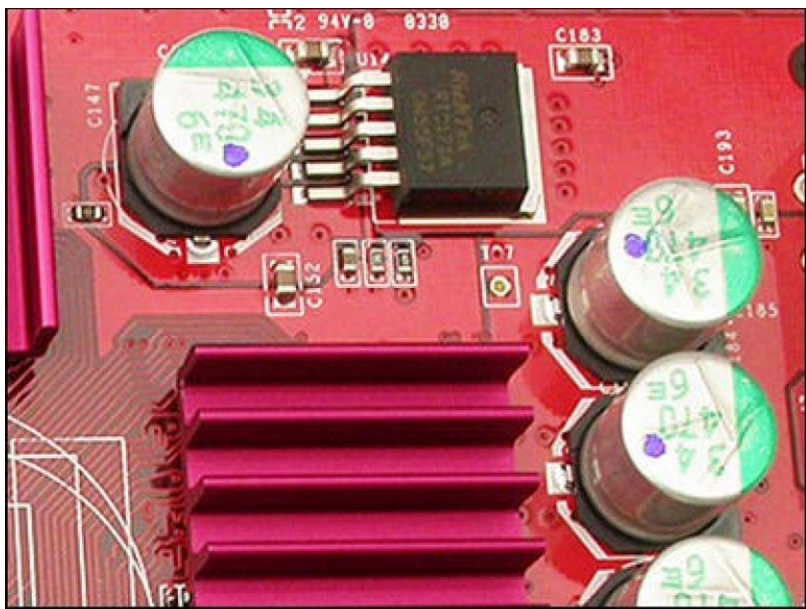
第 7页：阴极的革命固体聚合物导体

4. 如果说 TCNQ是电解电容革命的开始的话，那么真正的革命的主角当属 PPY（聚吡咯）以及 PEDT这类固体聚合物导体。



著名的 SANYO OSCON SVP系列铝固体聚合物导体电容

70年代末人们发现，使用掺杂法可以获得优良的导电聚合物材料，从而引发了一场聚合物导体的技术革命。1985年，小日本首次开发了聚吡咯膜，如果使用复合法的话，可以使其导电率达到铜和银的水平，但它又不是金属而相当于工程塑料，附着性比金属好，同时价格也比铜和银低很多，此外，在受力情况下，其导电率还会产生变化（其特性很像人的神经系统）。这无疑是电容研发者梦寐以求的阴极材质。 2000年，美国人因为发明了大规模制造 PPY 聚吡咯膜的方法，而获得了当年的诺贝尔化学奖，其重要性可见一斑。聚吡咯的用途非常广泛，从隐形战斗机到人工手，以及显示器和电池、电容等等。聚吡咯的研发实力，可以反映出一个国家的化学水平，而我国的西安交通大学和成都电子科技大学在这方面比较突出。



三洋 CVEX固体聚合物导体+电解液混合电容注意防爆槽

使用 PPY聚吡咯和 PEDT做为阴极材料的电容，叫做固体聚合物导体电容。其电导率可以达到 100S/CM，这是 TCNQ盐的 100倍，是电解液的 10000倍，同时也没有污染。固体聚合物导体电容的温度特性也比较好，可以忍耐 300度以上的高温，因此可以使用 SMT贴片工艺安装，也适合大规模生产。固体聚合物导体电容的安全性较好，当遇到高温的时候，电解质只是熔化而不会产生爆炸，因此它不像普通铝电解电容那样开有防爆槽（三洋有一种 CVEX电容，阴极为固体聚合物导体加电解液的混合型，因此也有防爆槽）。固体聚合物导体电容的缺陷在于其价格相对偏高，同时耐电压性能不强。



GF 6800U使用的 CHEMICON PS/16V电容无防爆槽

最新锐的 GF 6800 Ultra显卡，在 NVIDIA公版上就使用了 CHEMICON PS/16V固体聚合物导体电容。我看到有些“高手”对此不屑一顾，说 16V算什么？确实，和使用电解液为阴极的电容相比，16V确实不算什么。但是在 16伏特电压下，它的 ESR性能不是一般的电解液电容所能达到的，因此才被应用到 GF 6800 Ultra这样的顶级显卡上。

小地：使用不同的阳极和阴极材料可以组合成多种规格的电解电容，是吗？

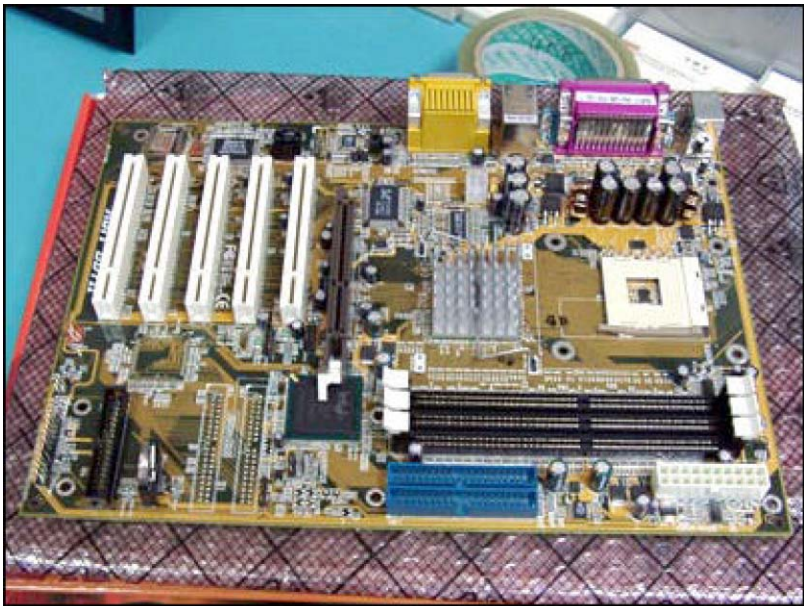
万鹏：是这样的。基本上所有组合都可以。例如钽电解电容也可以使用固体聚合物导体做为阴极，而铝电解电容既可以使用电解液，也可以使用 TCNQ、PPY和 PEDT等等。现在新型的钽电容也采用了 PPY和 PEDT这类固体聚合物导体做阴极，因此性能进步很多，也没有以往二氧化锰阴极易爆炸的危险。如今最好的钽聚合物电容的 ESR可以达到 5毫欧

姆。这类性能高、体积小的钽聚合物电容一般使用手机、数码相机等一些对体积要求较高的设备上。

小地：你刚才提到了有些电容不适合 SMT贴片工艺，请问是否使用 SMT，对性能会带来什么影响？

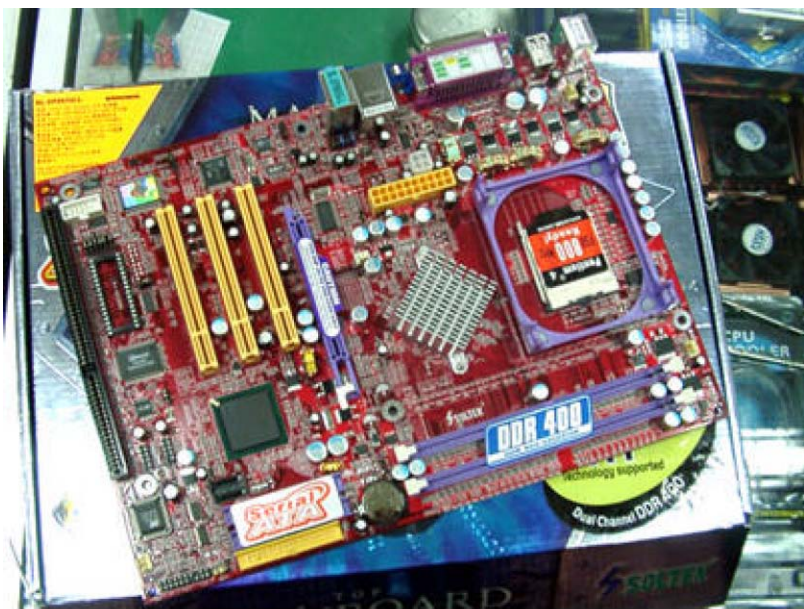
万鹏：无论是插件还是贴片式的安装工艺，电容本身都是直立于 PCB 的，根本的区别方式是 SMT贴片工艺安装的电容，有黑色的橡胶底座。SMT的好处主要在于生产方面，其自动化程度高，精度也高，在运输途中不像插件式那样容易受损。但是 SMT贴片工艺安装，需要波峰焊工艺处理，电容经过高温之后可能会影响性能，尤其是阴极采用电解液的电容，经过高温后电解液可能会干枯。插件工艺的安装成本低，因此在同样成本下，电容本身的性能可以更好一些。由于欧美工厂的机械成本低而人工比较贵，所以大部分倾向于 SMT贴片制造。而国内工厂的人工较便宜，所以厂商更愿意使用插件式安装。

在性能方面，插件式电容对频率的适应性差一些，不过不到 500MHz 以上的频率是很难体现出差异的。使用插件式安装的电容中也有很好的产品，例如 CHEMICON 的 PS 系列有一部分就是使用插件式的。



👤 主板上的电容大多有“皮”

小地：有塑料外皮的电容和没有外皮的铝壳电容，性质上有什么区别吗？为什么主板上大都使用前者？

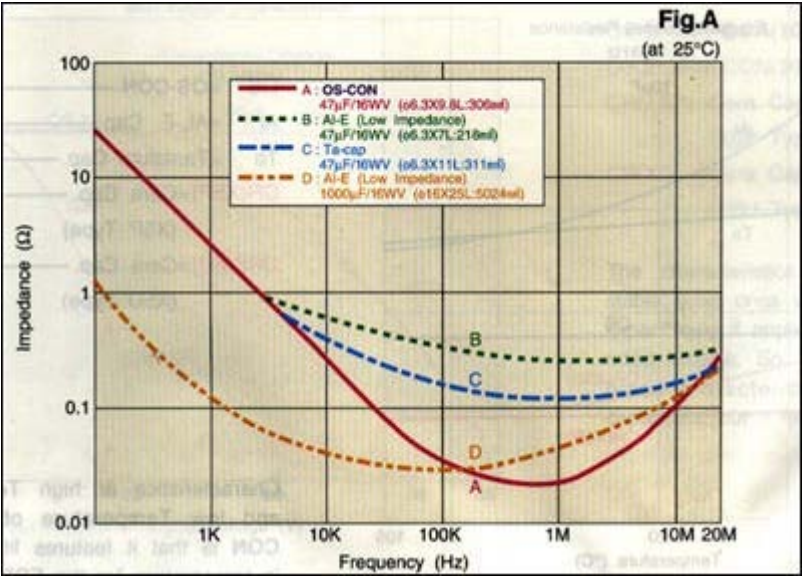


新款主板开始使用铝聚合物高档电容

万鹏：所有的直立式电容都是铝壳电容。只不过有一部分电容外面包了 PVC薄膜，这样对温度的适应性会好一点，但是这样做会污染环境，所以现在的电容都很少使用了。从成本上将，有塑料外皮的电容对铝壳要求低，成本会低一些。主板产品因为面积大，可以用稳压电源，这样开关频率相对较低，所以没必要太好的电容，而显卡因为面积小，对电容要求就高。不过现在很多新款主板也开始用比较高档的电容了。

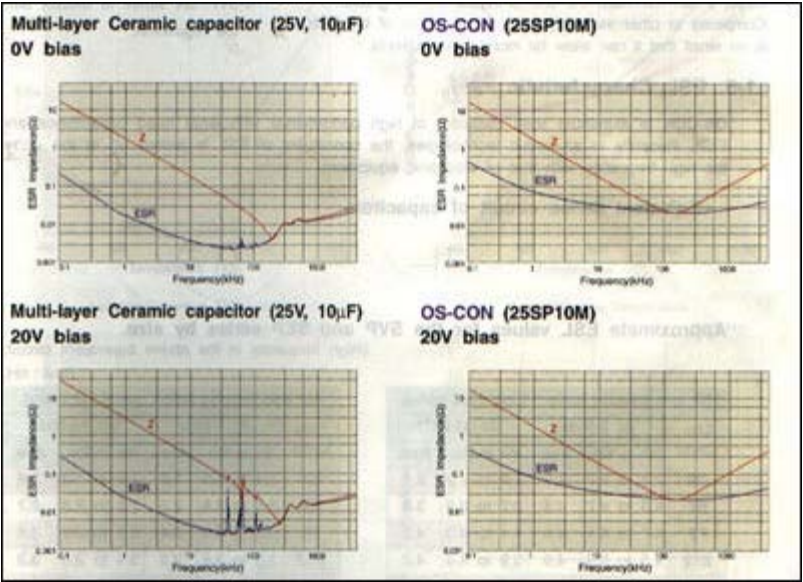
第 8页：电解电容阴极性能初步对比

电解电容阴极材质性能特性对比					
阴极材质	电解液	二氧化锰	TCNQ	固体聚合物导体（PPY/PEDT）	固体聚合物导体+电解液（CVEX混合型）
导电率	0.01S/CM	0.1S/CM	1S/CM	100S/CM	100S+0.01S/CM
导电方式	离子导电	电子导电	电子导电	电子导电	电子+离子导电
热阻性能	260度	500度	230度（不适合 SMT贴片）	300度	260度
优点	价格最便宜，耐压性优良，有自愈特性	性能稳定	价格相对便宜，导电率高，综合性能较好	无污染，不会爆炸，良好的温度特性，LOW ESR值	具备固体聚合物导体电容和电解液电容的一切优点与缺点
缺点	受温度影响巨大，ESR高，安全性不高	容易污染，安全性不高，价格也比较贵	不耐高温，有污染，耐电压值低	价格昂贵没有自愈特性，耐电压值低	



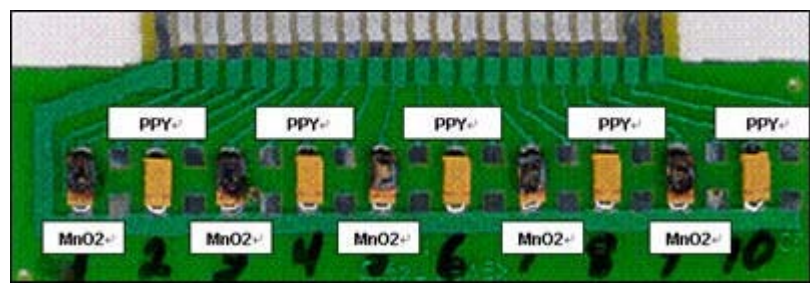
在以上表格当中，红线代表铝聚合物导体电容，绿色虚线表示普通铝电解液电容，蓝色虚线表示钽二氧化锰电容，黄色虚线表示超大容量（1000 μ F）、超大体积（后面的“Φ”符号代表了各自的体积）的铝电解液电容。表格的 X轴线表示频率，Y轴线表示阻抗，Y轴的阻抗数值越低，ESR值就越低，性能就越好。

这个表格体现的是在频率逐步提升的情况下，不同种类电容的性能变化。可以看出，当频率达到 10KHz以上的时候铝聚合物导体电容的 ESR值继续保持在较低的水平，当达到 100KHz的时候，其 ESR值低于其它所有类型的电容，包括钽电容和容量为 1000 μ F 的铝电解液电容（注意：两者的体积比例为 300：5000），而该电容的容量仅为 47 μ F。到了 1MHz，铝聚合物导体电容优势更明显。



以上这 4个表格代表的是陶瓷电容（左边两个表格）和 TCNQ有机半导体电容（右边两个表格），在施加电压为 0V（上表）和 20V（下表）的两种情况下，其 ESR值的波动。可以看出，陶瓷电容在 20V电压，频率接近 100KHz的时候 ESR出现了剧烈的波动。而 TC

NQ电容的 ESR值则保持平滑的曲线。新电解材料的使用使电解电容在某些方面比电容的王者陶瓷电容更有优势。



当极性接反并施加 2倍额定电压和 20A电流时不同阴极钽电容的反映：如上图，使用二氧化锰为阴极的钽二氧化锰电容全部爆炸，而使用 PPY为阴极的钽固体聚合物电容虽然全部报废，但表面无损。这反映了二氧化锰阴极电容和聚合物电容在安全性上的差异。

第 9页：结束本篇后记下篇预报

技术的发展是日新月异的，前几年我还在为电解电容能否工作在音频(20KHZ)上和人争执，转眼现在新电解电容都在挑战 20MHZ了。这几年我遇到无数设计上因为电容选择错误而导致恶性后果的事件（比如耕宇 4200显卡花屏退货，XX厂主板电容爆浆），也看到不少厂商和所谓“高手”在电容上误导消费者。

最令人担心的是现在很多电子设计人员都没能注意到电容的地位越来越举足轻重，技术的发展已使电容脱胎换骨了，忽视对它们的研究是很危险的。还好我们国家还是有不少真正的人才在关注（比如西安交大和电子科大）。为了让我们在基础电子领域不落后先进国家太远，笔者斗胆写点科普的东西（真正的研究人员往往不屑做）。

在搜集了两年资料以及利用笔者可以参考内部资料的特权（基本上很多电容厂对配方和材质都是保密的，小日本尤其如此）后写就此文，希望读者特别是年轻读者能抓紧时间投入到基础研究中去，特别感谢 PCPOP小地和李想以及我的朋友谷毅等人的大力协助，没有他们的帮忙我不可能那么勤奋地准备文章，仅以此文献给广大读者和那些为我国基础电子产业默默奉献的栋梁。

本篇主要讲解电容的基础知识，例如各个种类的电容及其基本性能等等。在下篇当中，我们的文章内容将由理论转为实战。我们将会大家介绍电容的制造过程，以及具体几款电容的性能、设计实例等等。最后，我们还将为大家介绍常见的电容品牌的特色。请大家期待！