

电 解 电 容 器

Л. Н. 扎 盖 姆 著

伍 力 译

內 容 簡 介

本书系統地叙述了有关单向导电性金屬的氧化膜結構、性能及其形成机理的各种現代理論，并詳述了工业用电解电容器的計算方法、制造方法、重要特性及測試方法。

本书适用于生产、研制及使用无綫电零件的工厂的工程技术人员、研究所和实验室的科研人员，以及高等院校有关专业的高年級学生。

Л. Н. Закгейм

Электrolитические Конденсаторы

Государственное Энергетическое Издательство 1954.

电 解 电 容 器

Л. Н. 扎盖姆著

伍 力 譯

*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第 074 号

国防工业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

*

850×1168 1/32 印張 7 1/16 179 千字

1963 年 6 月第一版 1963 年 6 月第一次印刷 印数: 0,001—2,150 册

統一书号: 15034·651 定价: (11-5) 1.50 元

原 序 (节譯)

在无线电器材制造中, 电解电容器是一种应用最广的电容器。由于本身性能的特殊及生产相当复杂, 它在许多广泛采用的无线电零件中占有极其重要的地位。

作者在近几年来积累了许多经验, 因而有可能在本书内系统地叙述有关单向导电性金属的氧化膜结构, 性能及其在电解槽内的形成机理的现代理论, 并对工业用电解电容器的计算方法、生产方法、重要特性及试验方法加以阐述。

作者希望, 本书的出版将有助于无线电零件工业的专家的培养, 并能帮助无线电器材设计人员正确地选择各种用途不同的电容器。

本书适用于生产或使用电解电容器的工厂车间和实验室的工程技术人员, 无线电零件研究所的科研人员, 以及有关高等学校的高年级学生。本书的最后两篇, 也可用来培养车间及工厂实验室的技术员、工长、检验员及其它工作人员。

本书承 E. A. 加伊里什、B. T. 連聶及同事 Л. Г. 果迭斯、Г. Д. 尼古拉耶娃和 Я. М. 克先德佐夫等同志参与手稿的校阅和许多问题的讨论, 作者谨向他们表示谢意。

作 者

目 录

第一篇 单向导电性金属氧化膜

导言	7
第一章 单向导电性金属氧化膜的形成	11
§ 1 在不溶解金属氧化物的电解液中氧化膜的形成	11
§ 2 铝氧化膜在溶解金属氧化物的电解液中的形成	17
第二章 单向导电性金属氧化膜的结构及其物理性质	20
§ 3 氧化膜的分离方法	20
§ 4 铝的天然氧化膜	22
§ 5 在不溶解金属氧化物的电解液中形成的氧化膜的结构、厚度 及介质常数	24
§ 6 氧化膜的场强	34
§ 7 氧化膜的电导率	35
§ 8 氧化膜的介质损耗	37
§ 9 在溶解氧化铝的电解液中形成的氧化膜的结构	38
第三章 单向导电性金属氧化膜在不溶解金属氧化物的电解 液中的整流作用	42
§ 10 氧化膜的单向导电性及其整流作用	42
§ 11 整流作用的电渗透理论	45

第二篇 电解电容器设计原理

第四章 电解电容器概述	51
§ 1 单向导电性金属氧化膜的技术应用	51
§ 2 湿式电解电容器	52
§ 3 干式电解电容器	55
§ 4 电解电容器的外形尺寸	59
§ 5 现代的电解电容器	64

第五章 等效电路及电容量和损耗角正切的温度与频率关系	73
§ 6 电解电容器等效电路的计算	73
§ 7 干式电解电容器容量和损耗角正切与温度和频率的关系	80
第六章 电解电容器的热计算	91
§ 8 圆柱形电容器的温度分布计算	91
§ 9 小型干式电解电容器的热计算	96
§ 10 交流电解电容器的热计算	102
§ 11 湿式电解电容器的热计算	104

第三篇 电解电容器的制造

第七章 原材料及其要求	106
§ 1 阳极和阴极用铝	106
§ 2 配制形成液及工作电解质用的试剂	108
§ 3 干式电解电容器用的纤维衬片	112
§ 4 橡皮材料	114
§ 5 灌注料	115
§ 6 在电解电容器生产中迅速检验原料和半成品的�主要方法	115
第八章 阳极表面的净化和人工扩大	123
§ 7 扩大阳极表面用的各种方法	123
§ 8 腐蚀作用对电容器电特性的影响	127
§ 9 电解电容器用铝箔的工业腐蚀法	130
§ 10 阳极箔容量的标定	135
第九章 湿式电解电容器	137
§ 11 阳极的制造、清洗及形成	137
§ 12 工作电解液的配制	145
§ 13 电容器的封口和再形成	148
第十章 干式电解电容器	153
§ 14 阳极箔的预形成和形成	153
§ 15 干式电解电容器芯子的卷绕	163
§ 16 工作电解质和芯子的浸渍	172
§ 17 电容器的装配和再形成	183

§ 18 鋁阳极电解电容器	192
§ 19 无极性电解电容器和交流电解电容器的結構和工艺特点...	194

第四篇 电解电容器的主要特性及試驗方法

第十一章 电解电容器的主要特性	198
§ 1 电解电容器的漏电流及絕緣电阻	198
§ 2 电解电容器的容量和損耗角正切值	202
§ 3 电解电容器在长期使用时的特性变化	204
§ 4 电解电容器在长期貯存时的特性变化	208
第十二章 电解电容器的試驗方法	213
§ 5 測定电解电容器特性的一般条件	213
§ 6 漏电流的測定	214
§ 7 电容量及損耗角正切值的測量	216
§ 8 电解电容器的使用試驗	221
参考文献	223

第一篇 单向导电性金属氧化膜

导 言

在电解电容器中，介质是一层极薄的金属氧化膜，它是用特殊的电化学方法生成在电容器的一个极片上的；而电容器的另一极片，是能生成和恢复金属氧化膜的电解质。

因此，电解电容器可长期在工作条件下工作，不会因介质中有偶然出现的斑点和局部损坏使其遭到连续性的破坏，而是自动地恢复和逐渐强固。这种自愈能力，使介质在电解电容器中有可能在工作电场强度极大的条件下工作，也就是说，可将其用在数十倍、数百倍地超过其它类型电容器内介质的工作电场强度的条件下工作。介质的电场强度既如此之大，因而也就决定了电解电容器一个突出的优点，即其外形尺寸较之其它类型电容器的为小。

对电解电容器深入研究和在技术上加以改进的基础，是长期不断地研究许多金属在某些电解液中阳极氧化时生成的氧化膜的各种特性。

这一类金属的特点，是在电解槽（按图1所示电路装成；内盛相应的电解液）内将金属接正极时，在其表面上生成一层氧化薄膜。阳极上生成的金属氧化膜有介质特性。因此，当电流强度恒定时，电解槽的电压降随氧化膜的厚度增加而增大，或者，当电压不变时，通过电解槽的电流强度逐渐减小。

通过电化学氧化过程在阳极上生成的氧化膜的特点，是在多种电解液中它具有单向导电性。将形成了氧化膜的金属接正电位时，氧化膜将阻挡电流通过电解液，而将其接负电位，就有电流通过。

为什么电解电容器区分为正极性呢？
目前，已确定有许多金属可生成具有单向导电性的介质氧化膜，其中包括有：钽、铝、铌、钽、锡、镁、锌、镉、锆、钛。

鎢、錫、鉄、銀及硅。

这些金屬便叫做单向导电性金屬。

单向导电性金屬氧化膜的生成过程（形成过程）的特点、形成速度、阳极氧化膜的电压降最大值、生成的氧化膜的厚度及其特性和結構等，都决定于单向导电性金屬和电解液的配合。

鋁和鋁氧化膜的各种特性极其良好，因而也只有这两种单向导电性金屬在工业中广泛采用。鋁的特性虽优且易于形成，但由于产量少和价格貴，也只能在特殊的情况下采用，因而在广泛应用的电解电容器的生产中，实际上鋁是占首位的。

因此，对鋁氧化膜的形成过程及其特性进行了极为詳尽的研究。

根据电解液对鋁的形成过程、氧化膜的特性及結構的影响，可将各种电解液主要分为三类。

第一类包括不溶解或微溶解鋁及氧化鋁的电解液。这一类中的硼酸溶液、硼砂及檸檬酸溶液，是广泛用于电解电容器生产中几种主要的电解液。在这些电解液中使鋁箔接正极时，其表面生成一层由氧化鋁 Al_2O_3 构成的高介质特性的薄膜。如果电解液选择适当，氧化膜的电压降可达 1500 伏。長時間形成时，阳极氧化膜的厚度平衡值决定于形成电压，該值一般在 0.01 到 1.5 微米之間。

在电解电容器生产中，用这类电解液在电容器极片上生成一层金屬氧化膜，作为电容器的介质。

第二类包括不溶解或微溶解鋁，但可良好地溶解氧化鋁的电解液。这类电解液有硫酸、草酸、鉻酸和丁二酸等。在这些电解液內使鋁箔接正极时，在形成的第一阶段，鋁表面生成 Al_2O_3 薄膜，近阳极层的电压降随电解液成分及形成条件的不同，可达 6~60 伏。繼續形成时，近阳极层的电压降及通过槽的电流强度保持不变，而在鋁阳极上的氧化膜繼續增厚。長時間形成可生成一层比在第一类电解液內更厚的膜，并且只要遵守规定的預防措施，

在这类电解液内的氧化膜的厚度可达0.5~0.6毫米。这类电解液生成的“厚”膜，系由氢氧化铝与电解用酸中的铝盐杂质构成，其特点是疏松多孔。在干燥的情况下，这层氧化膜有相当高的介质特性，但这种特性在潮湿时却显著恶化。

在工业上，这种氧化膜广泛用作铝及其合金的防蚀层和装饰层，也可用做铝导线的和低压下工作元件的耐热绝缘层。

在电解电容器的生产中，用第二类电解液形成的氧化膜可直接用作低压（30~50伏）电容器的介质。而在工作电压较高的电容器中，这种氧化膜可用作保护层，用以保护它下面的在第一类电解液中生成的介质氧化膜。

第三类是对铝有腐蚀性并可生成易溶的铝化合物的电解液。这类电解液首先包括有碱、盐酸及其盐类。在这些电解液中使铝箔接正极时，铝被溶解并呈离子状进入溶液。在这一过程中，近阳极层的电压降不超过几伏特。在这类电解液中进行电解时铝上不生成氧化膜。这一过程若持续过久，则铝将显著地溶解。

在空气中，铝氧化膜经常在金属表面上很快地生成，它不同于人工生成的氧化膜，而被称为“天然”或“空气”氧化膜。如果对生成在铝表面上的这层极薄的铝氧化膜加以研究，即可理解铝在碱性和含氯溶液内溶解特性的差别。

天然氧化膜在碱性电解液中溶解并生成铝酸。因此铝表面失掉保护层而均匀地溶解于电解液中。

铝在含氯电解液中的溶解是不均匀的。

氯离子遇水同氧化膜化合，这一反应过程并不像碱和氧化膜之间的反应进行的那样快。当氯离子接近被天然氧化铝薄膜复盖的铝阳极时，它就在个别较薄弱的地方损坏膜层。电解液在这些地方与铝接触，于是在这里铝和氯开始发生激烈的反应。但被较厚的氧化膜复盖的铝表面的相邻近部分，仍留有保护层，并不受到氯的破坏。因此，铝在含氯电解液中的溶解是极其不均匀的，因而在这些溶液中电解后，铝阳极表面就呈蜂窝状，在这些地方

鋁同氮，同仍留有保护层的部分发生反应。

必須指出，即使在无外加电压时，鋁在这类电解液中的溶解过程也是极其强烈的。

第三类电解液可用于电解电容器生产的輔助工序：形成前可用碱清洗鋁阳极的表面油污；含氮的酸及其盐类可用于人工扩大阳极表面，以增大电容器的容量。

上述分类仅是概略的。还有一些电解液未列入这三組範圍內。通常屬於第一类的电解液中，也有一些可显著溶解氧化鋁的电解液。在这类电解液中的形成，同用第一类电解液形成的規律性有本质上的差別。实质上，这些电解液已轉入第二类电解液的範圍。

尽管如此，甚至这种概略的分类也是适宜的，因为它使那些至今尚未作出令人滿意的理論解釋的許許多多的实验材料，在叙述方面有一定的条理性。

由于还缺乏足够全面的实验材料，目前还不能就电解液对其它单向导电性金屬氧化膜形成特性及結構的影响，将其加以分类。

目前已知，鋇和銲形成用的电解液全屬於第一类。对于其它单向导电性金屬，所研究的电解液也应屬於第一类，而且其中一些可显著溶解金屬的电解液，应介于第一类和第二类之間。

在本书第一篇以下各章里，将叙述单向导电性金屬在各种不同电解液內形成的主要規律性，并对单向导电性金屬氧化膜的物理特性，电特性及其結構研究所得的重要結果加以闡述。

第一章 单向导电性金属氧化膜的形成

§ 1 在不溶解金属氧化物的电解液中氧化膜的形成

如果保持通过电解槽的电流不变,即是使阳极电流密度恒定,就可在图1所示的电解槽内进行阳极形成。为此,应接一变阻器 R ,用以减小外电路的电阻,以便补偿槽内因阳极氧化膜的生成而增大的内电阻。用这种方法形成时,接在电解槽上的伏特计将示出不断增大的电压。

如果电流密度不很大,电解液的电阻率又小,则伏特计上的示度将极精确地符合于阳极上形成的氧化膜的电压降(如果电解液的电阻率大,或在电流密度较大的情况下形成时,则应考虑到电解液的电压降而作适当的修正)。

当电流密度保持不变时,氧化膜形成电压和时间的关系如图2曲线所示。

在这种情况下,形成速度可由电解槽上电压增长的速度表示。由图2可见,这一速度可根据曲线对横座标轴的斜率决定。

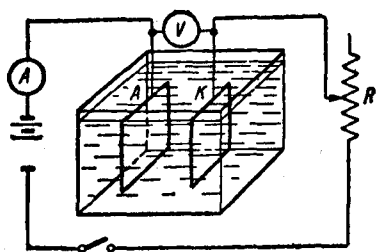


图1 电解槽电路连接图。

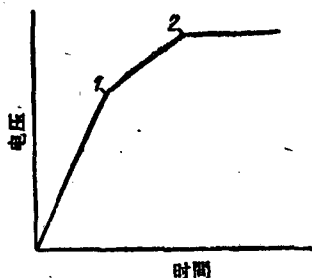


图2 电流密度恒定时电压与时间的关系：

1—第一次弯折；2—第二次弯折。

如图所示,在形成初期,电压增长与时间的关系趋近于直线。当电压达到一定值后(这与单向导电性金属和电解液的配合有关),形成速度逐渐减小(见图2曲线第一次弯折)。

当电压和第一次折线的电压相同时,阳极表面上出现小火花。这一电压叫做閃火电压。

电流继续通过电解槽时,火花强度增大,而形成仍继续进行,尽管槽上电压增长较慢,但仍保持上升状态。当达到一定电压以后(图2曲线第二次弯折),火花强度愈益增大,此时可听到閃火所发出的噼啪声,与此同时,在电解槽电路中,电压发生显著的变化。从这时起,继续形成实际上已终止。与图2曲线第二次弯折相应的电压,通常叫做极限电压。

如果保持电解槽上的电压不变,同样也可在图1所示的电解槽内进行阳极形成。为此,必须在实验一开始时,就把形成电压加到电解槽的接线端上去。在这样的条件下形成时,电流密度随时间而逐渐变化。在接通电解槽后的最初瞬间,电流密度决定于

电解液的电阻率,并随阳极氧化膜的生成而逐渐减小,趋向于一定的剩余值。

如果形成电压低于閃火电压,则电流密度和时间的关系如图3曲线所示。

根据Л. Н. 扎盖姆和Г. Д. 尼古拉耶娃[1.]的研究数据,当电压不变时,电流密度和时间的关系大约适合于下一方程:

$$j = j_0 e^{-bt} + j_{\kappa}, \quad (1)$$

式中 j_0 ——电解槽接通瞬间的电流密度;

j_{κ} ——最终电流密度;

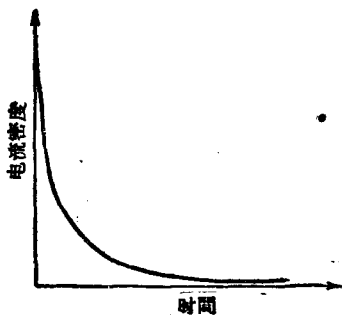


图3 电压不变时阳极电流密度与时间的关系。

b ——常数;

t ——時間。

無論是在电流或是在电压不变的条件下形成时，均能使阳极上生成一层薄而密实的金属氧化膜，在某些情况下，这层膜还带有干扰色彩。

当改变电解槽的极性时，甚至在形成进行了相当长的时期，仍有相当大的电流通过电解槽。由此可见，带有已形成的阳极的电解槽就是一个阀，它既能在一方阻止电流通过，而在相反的一方又让电流通过。

长时间形成以后，带有单向导电性金属阳极的电解槽就是一个电容，其容量大小对每种单向导电性金属来说，只是由形成终止时的电压决定，并不取决于电解液的成分和形成条件。

按上述规律性形成，只能在那些实际上不能溶解阳极氧化膜的电解液中进行。就以每种单向导电性金属而论，都或多或少有很大一类不溶解或很少溶解金属氧化物的电解液。

对铝和铌来说，如前面曾提到的，几乎所有的电解液都能满足这一要求。

铝在 pH 值（氢离子浓度的负对数）为 4~7.5 的弱酸及盐类溶液中能很好地形成。

这类电解液包括：硼酸 (H_3BO_3) 和柠檬酸 [$HOOC-CH_2-C(OH)(COOH)-CH_2-COOH$]、硼砂 ($Na_2B_4O_7$)、硼酸铵 $[(NH_4)_2B_{10}O_{16} \cdot 8H_2O]$ 、碳酸铵 $[(NH_4)_2CO_3]$ 、钼酸铵 $[(NH_4)_2MoO_4]$ 及钨酸铵 $(NH_4)_2WO_4$ 等的水溶液。

铌能在碳酸铵 $[(NH_4)_2CO_3]$ 、钼酸钠 (Na_2MoO_4) 及络合物 $[K_3Fe(CN)_6]$ 、 $K_2Pt(CN)_4$ 等的水溶液中形成。

铌能在硫酸钠 (Na_2SO_4) 及碳酸铵 $[(NH_4)_2CO_3]$ 的水溶液中形成，也可在络合物 $[K_2Ni(CN)_4]$ 、 $[K_2Pt(CN)_4]$ 的溶液中形成。

除以上列举的电解液外，单向导电性金属也可在显著溶解氧

化膜的溶液中形成；但在类似的溶液中，上述形成的规律性却发生很大的变化。

用显著溶解金属氧化物的电解液进行长时间形成的特点，是金属氧化物或其盐类沉淀在电解液中，而且在其它条件相同时，所得到的金属氧化膜，比在不溶解金属氧化物的溶液内形成得到的更厚而且多孔。

这些电解液的示例如下：对铝，有硫酸钠（ Na_2SO_4 ）和磷酸（ H_3PO_4 ）；对铍则有硼砂（ $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ）和氢氧化钾（ KOH ）；对锑有铬酸钾（ K_2CrO_4 ）及氢氧化钠（ NaOH ）；对锡则有浓硫酸（ H_2SO_4 ）等。

在这些电解液中，极限电压与形成时的电流密度及电解液的温度有关，电流密度愈大，温度愈高，则极限电压也就愈低。

单向导电性金属氧化膜不仅在水溶液中形成，也能在非水溶剂的电解液中形成。铝在酒精硼酸溶液，铍在溶于甲、乙、丙、丁、戊诸醇内的 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 的溶液中形成的试验证明，在所有这些电解液中，单向导电性金属的表面上同样也能生成氧化膜。这一膜层的厚度与电解液的成分无关，而且在形成电压相同时，与在水溶液中得到的膜层厚度相等。

单向导电性金属在多元醇的溶液中也能很好地形成。用甘油及乙二醇作电解液形成时，可以得到一层薄的金属氧化膜。这类电解液常用在电解电容器的生产中。

研究铝和铍在已熔化的 KNO_3 、 NaNO_3 及 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 的盐类中形成的情况表明，即使在这些媒质内，如通以电流，也可在阳极上生成一层薄的金属氧化膜。

在不溶解金属氧化物的电解液中形成时，闪火电压实际上与电流密度及温度无关，而与电解液的浓度有很大的关系。图4示出铝的闪火电压与电解液浓度的关系曲线。图中（a）表示在柠檬酸及附加钼酸铵的溶液中形成情况；（b）表示在有硼砂的硼酸溶液中形成情况（以上系根据B. T. 连聶和Л. T. 施里赫捷尔的

測定結果〔2〕。鋁在硫酸溶液中形成時，其閃火電壓與電解液濃度之關係數據列於表1（根據別爾測定結果）。

由於電解液的體積電阻率與濃度有關，因而可以確定在閃火電壓與電解液的電阻率之間有一定的關係。

如果電解液的濃度變化範圍不很大，則閃火電壓與電阻率的關係適合下一方程：

$$U_{\text{閃火}} = a \lg \rho + b, \quad (2)$$

式中 ρ ——電解液的電阻率；

a 和 b ——常數。

表1 鋁的閃火電壓與硫酸濃度之關係
(在20°C及電流密度為1毫安/厘米²時形成)

濃 度 (%)	閃火電壓(伏)	濃 度 (%)	閃火電壓(伏)
0.0001	256	13	94
0.001	242	16	90
0.01	240	20	90
0.1	228	40	87
1	173	58	76
5	114	75	62
9	99	96	48
11	96		

在相同的電解液及同一電流密度下形成時，不同的單向導電性金屬的閃火電壓有不同的數值。各種單向導電性金屬在溫度為20°C，電流密度為2毫安/厘米²時；其閃火電壓在濃度一定的硼砂和硼酸溶液中的數值列於表2〔3〕。

極限電壓也與電流密度及溫度無關，這是因為這些數值的改變並不影響單向導電性金屬在電解液中的溶解。電解液中陰離子

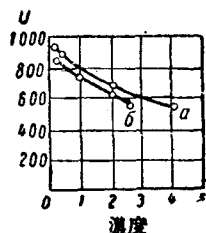


圖4 鋁的閃火電壓與電解液濃度之關係。

的濃度是決定極限電壓大小的因素。離子濃度相同，而一般濃度相差極大的溶液，其極限電壓值大致相同（參見表3〔3〕）。

表2 閃火電壓與單向
導電性金屬種類之關係

單向導電性金屬	閃火電壓(伏)
鋇.....	188
鈹.....	119
鎳.....	83
鋁.....	259

陰離子的種類對於極限電壓值有着本質的影響。當離子濃度為0.05當量濃度時，鋇和鋁在陰離子不含金屬的水溶液內，其極限電壓約為450伏。反之，若陰離子內有金屬，則使極限電壓值減小到表示該種金屬特性的某一數值，此值几

乎與陰離子本身無關。含有Au, Mn, Rh, Pd, Ir和Pt諸金屬的陰離子，可使極限電壓急劇下降。

表3 極限電壓與電解液離子濃度之關係

電解液	一般濃度 (以當量濃度計)	離子濃度	極限電壓 (伏)
$\text{NH}_4\text{OH}'$	5.4	0.0111	540
$\text{Na}^+\text{OH}'$	5.4	1.5	37
$\text{Na}^+\text{OH}'$	0.0118	0.0111	590
$\text{CH}_3\text{COO}'\text{H}^+$	3.5	0.0079	620
$\text{CH}_3\text{COO}'\text{Na}^+$...	3.5	0.8	266
$\text{CH}_3\text{COO}'\text{Na}^+$...	0.0084	0.0079	720

當電解液的離子濃度增大時，極限電壓下降。根據對鋇和鋁在許多電解液中進行的測定表明，在當量離子濃度分別為0.5和0.05的二種溶液中，極限電壓之間的比值約為0.49。

陽離子對於極限電壓值影響不大。但也得指出，如果在陽離子內，也有那些為陰離子所包含的，能使極限電壓急劇下降的金屬時，也可使極限電壓降低。

前面曾提到，形成速度的特點可由圖2所示曲線對橫軸的斜率表示，當電壓低於閃火電壓時，它取決於單向導電性金屬的性

质、电解液的温度及电流密度。在相同的电流密度及温度条件下，同一种单向导电性金属在不同的电解液中的形成速度无明显变化。电流密度一定时，铝在不同电解液中的形成速度数据列于表4内。

在电解电容生产中，形成速度与电流密度之关系，对于实际选择形成条件有极重大的意义。表5是铝在95~98℃时，于柠檬酸及附加钼酸铵和氨的溶液中形成速度与电流密度之关系（根据B. T. 連聶和Л. T. 施里赫捷尔的数据〔2〕）。

表4 铝在不同电解液中的形成速度
(在电流密度为2毫安/厘米²及0℃时)

电 解 液	20 伏 时 形成速度 (伏/分钟)	100 伏 时 形成速度 (伏/分钟)	140 伏 时 形成速度 (伏/分钟)
(NH ₄) ₂ CO ₃	33.0	43.5	50.5
H ₂ SO ₄	38.4	42.0	42.0
KMnO ₄	33.6	—	—
Na ₂ B ₄ O ₇	42.0	48.0	51.5
K ₂ Cr ₂ O ₇	39.6	—	—

表5 形成速度与
电流密度之关系

电 流 密 度 (毫安/厘米 ²)	形 成 速 度 (伏/分钟)
1	5
2	10
6	20
10	80

这两位作者也曾证明，形成速度实际上与电解液的浓度无关。

至于形成速度与电解液的温度关系，迄今还很少研究。

§ 2 铝氧化膜在溶解金属氧化物 的电解液中的形成

铝在易于溶解氧化铝的电解液中形成的规律性，无论是电压和电流与时间关系的特性，或是阳极上生成的氧化膜的形状，都与前节所研究过的那些规律截然不同。

易溶解氧化铝的电解液有：硫酸(H₂SO₄)，铬酸(H₂CrO₄)，草酸(COOH)₂和丁二酸[HOOC(CH₂)COOH]。

氧化铝在这些电解液中形成时，其溶解度随溶液的浓度和温