



# (12) 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 89105567.3

[51] Int. Cl<sup>3</sup>

H01M 4/36

[43] 公开日 1990年3月7日

[22] 申请日 89.8.8

[30] 优先权

[32] 88.8.9 [33] GB [31] 8818857.8

[32] 89.3.23 [33] GB [31] 8906777.1

[71] 申请人 艾尔坎国际有限公司

地址 加拿大魁北克省

[72] 发明人 约翰·安东尼·亨利

杰弗里·马克·斯卡曼斯

威尔弗雷德·伯纳德·奥卡拉汉

保罗·安东尼·威克利夫

[74] 专利代理机构 中国专利代理有限公司

代理人 杨松坚

H01M 6/04 H01M 10/26 H01M 10/36

说明书页数: 13 附图页数: 1

[54] 发明名称 铝电池

[57] 摘要

一种铝电池, 包括含水碱性电解质和阳极, 该阳极为含镁和/或钙的铝合金。锡存在于电解质中(呈锡酸盐, 浓度 0.001-0.01M)和/或阳极中(含量至少 0.005%)。在高和低电流密度下, 电池操作的库仑效率很高。优选操作条件包括至少 1 小时内, 按阳极表面以 5-400 毫安/厘米<sup>2</sup> 的平均电流密度进行, 并将晶种加入电解质内, 以有助于铝组份由电解质中沉淀。

< 43 >

(BJ) 第1456号

## 权 利 要 求 书

---

1.一种铝电池，包括阴极，一种含水碱性电解质和阳极，该阳极是一种含0.01-5% 镁和/ 或0.01-0.05%钙的铝合金，但不含镓，其中至少电解质或阳极之一含有锡，任意在电解质中的锡呈锡酸盐，其浓度为0.001-0.01 M，任意在阳极中的锡含量大于0.005%。

2.按权利要求1 的电池，其设计可提供稳压输出，并至少达1 小时，电流密度5-400 毫安/ 厘米<sup>2</sup>。

3.按权利要求2 的电池，其设计可使其在25-250毫安/ 厘米<sup>2</sup> 电流密度下操作。

4.按权利要求1-3 之任一项，其中阳极含0.01-0.2% 锡。

5.按权利要求1-4 之任一项，其中阳极含0.01-0.20%铟。

6.按权利要求1-5 之任一项，其中阳极含0.01-0.2% 锡和0.01-5% 镁之其中一种或两种，并任意地和0.01-0.05%钙或任意地与0.01-0.20% 铟结合，剩余量的铝纯度至少为99.85%。

7.按权利要求1-6 任一项电池的操作方法，包括在至少1 小时内，按阳极表面以5-400 毫安/ 厘米<sup>2</sup> 的平均电流密度由电池供电。

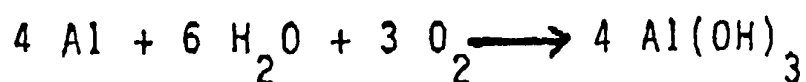
8.按权利要求7 的方法，在一定期间或之后不断由电池供电，该期间内电解质中的氢氧化铝浓度升高，至到电解质中生成氢氧化铝沉淀。

9.按权利要求1-6 任一项电池的操作方法，其中阳极中的铝逐渐溶于电解质中而由电池供电，该方法包括将晶种加入电解质，以有助于铝组份由电解质中沉淀出。

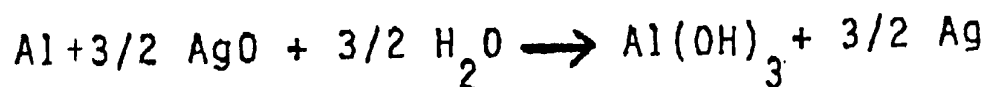
10. 按权利要求9 的方法，其中晶种为氧化铝三水合物。

铝 电 池

本发明涉及一种铝电池，具体地说是涉及一种（但不仅限于）铝/空气电池。其中具空气阴极和铝阳极，发生的总反应式如下：



本发明也可应用于一种铝电池系统中，其中氧是由氧化剂（如 $\text{MnO}_2$ 或 $\text{H}_2\text{O}$ 提供），或应用于铝/氧化银电池（如US 3953239），其中总反应式为：



应用了中性氯化物或碱性电解质的初级电池系统，可借助将铝料加加注入电池中而使其充电，该加料过程仅需数分钟，而次级电池之充电则需数小时。

具碱性电解质的电池的性能比具中性氯化物电解质的电池要优越得多。碱性系统电池具很高的单位能量（如400 瓦特小时/公斤）和能量密度（如175 瓦特/公斤），而对中性氯化物系统来说，单位能量为220 瓦特小时/公斤，能量密度为30瓦特/公斤。该两种系统中只要将电解质与阳极分开储放，其储存期几乎可无限。本发明是有关含碱性电解质的铝电池系统。

US 3563803 (Katoh)涉及这一类型的电池，并述及在碱性电解质中加入锡酸钠，最好浓度是是0.05-0.1 M。而阳极成份未有论述。

在US 4107406和US 4150204 (Moden) 中，述及在该类型电池中所用

阳极由含镓、镁和任选锡的铝合金构成。阳极中须含0.001-0.072%镓为必要成分，在实例中电解质含20克/升锡酸钠。

US 3186836和US 3189486(Pryor)中述及一种电池，其中应用铝/锡阳极和任选含镁的阳极，以及中性氯化钠电解质。

GB 2020478(Bohnstedt)述及的碱性电池中，将镓、铟或铊加入碱性电解质中。阳极可以是铝-镁合金。电解质可含标准添加物如浓度为约20克/升(0.07 M)之锡酸钠。

EPA 209402(Jeffrey)涉及该类型电池中，免除因锡酸盐加至电解质中所产生的问题，为此应用一种电化活性的铝合金阳极，其中除铝外，主要含铟，及至少锰或镁之一金属。

关于该种铝电池(其中含碱性电解质，锡存在于阳极和/或电解质中)在下列文献中有进一步论述：

Proceedings of the 10th Scandinavian Corrosion Congress 1986, pages 355-361, K. Nisancioglu et al.

Journal of Power Sources, Vol.22, Number 3-4, March/April 1988, pages 261-267, M.J. Niksa et al.

Proceedings of the 21st Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, 25-29 August 1986, San Diego, California, Vol.2, pages 1057-1061, A.C.S., G.M. Scamans et al.

FR 1473607.

Proc. Intersoc. Energy Convers. Eng. Conf. 18th Vol.4, 1983, pages 1635-1640, D.J. Levy et al.

Extended Abstracts of the Electrochemical Society, vol.81-2, October 1981, pages 318-319, J. Lee Morris.

US 3880671.

由上所述，对于含碱性电解质且锡存在于其电解质或阳极中的铝电池来说，已进行了大量的研究工作。商业上成功应用的高电流密度电池中，所应用的阳极是铝/镁/锡/镓四元系统。但是即使在高电流密度之下，镓可显著地降低库仑效率，并大大增加不需要的氢气析出。

本发明基于下述发现，即含碱性电解质，基于铝/镁/锡系统，且不含有镓的铝电池，在整个电流密度范围内（对此类电池为20-1000 毫安/厘米<sup>2</sup>）可达到高于90%的库仑效率。锡可存在于阳极或电解质中。据申请人所知，基于该系统的铝电池中[及相当的各种含钙（以取代或加入镁）电池]，是唯一可以在高电流密度和低电流密度下，可以高库仑效率操作的电池。

本发明一个方面是提供一种铝电池，其中包括阴极，含水碱性电解质和阳极，该阳极为含0.01-5%镁和/或0.01-0.05%钙的铝合金，但不含镓。并且至少阳极或电解质之一中含有锡，任意在电解质中的锡呈锡酸盐，其浓度为0.001-0.01M，任意在阳极中的锡含量大于0.005%。

本发明的另一个方面是提供操作这些电池的方法，该方法如后所述。

一般认为此类碱性铝电池不能在高电流密度下长时间操作。其中一个原因是，铝迅速溶解会加速阳极-阴极间隙的变化，而使内阻升至不可容忍的程度。另一个原因是，电解质中含铝组分的过饱和可使阳极钝化。因此这类电池可分成两类，一类是在高电流密度下操作，另一类可在较长时间内提供稳压输出，而电解质的过饱和并不限制最高放电期限。不同的电池设计需配合其不同的应用。现对其特性总结如下。

高电流密度电池是一种在电流密度至少为400 毫安/厘米<sup>2</sup>，并高达800 毫安/厘米<sup>2</sup>甚至1000毫安/厘米<sup>2</sup>下操作的电池。与低电流密度时比较，其所述电压较低，因此库仑效率较高，并且产生氢气趋势较低。在放电过程中由阳极溶解的铝在电解质中积聚且迅速达到饱和程度，由于这类电池一般不能经受电解质的最高过饱和度，其使用寿命有

限(除非使用复杂的电解质控制方式)。

设计较长寿的电池要在较低电流密度下操作,一般低于400 毫安/厘米<sup>2</sup>,然而也可能需实现短暂高电流密度。在这种情况下,阳极电压偏负,因此库仑效率偏低。氢气的产生的问题不仅是有爆炸的危险,而且氢气夹带于碱性电解质中会产生腐蚀性气雾。通常需要使其操作超过一定期限,此时氢氧化铝由电解质中沉淀出。并且此时应小心避免阳极钝化。其中阳极需较大,以保证有足够铝金属以使得电池可在所需的较长时间内操作。

由于上述铝/镁/锡和铝/钙/锡系统的独特性能,本发明涉及两类电池。但是本发明一个重要方面是涉及后一类电池。其设计成可在较长时间内提供稳压输出,称之为高安培-小时电池。由此表明一种电池,其设计可使其在较低的电流密度下操作如5-400 毫安/厘米<sup>2</sup>,且可在至少一小时内提供稳压输出。最好在这种情况下操作时,电池可设计成至少24小时可提供稳压输出,该电池可在20-250毫安/厘米<sup>2</sup> 电流密度下操作。例如它们可应用于电源故障时作备用电池,在这种情况下,电流产生电流密度一般为20-150毫安/厘米<sup>2</sup>。设计成同样用途的常用铅酸性电池的体积(和价格),约为铝碱性电池的12倍。另外例如它们还可应用于机动车辆中提供牵引,这时电流产生电流密度一般为100-250 毫安/厘米<sup>2</sup>,然而亦可短时间发出高电流,在这种情况下,阳极中锡含量需大于0.005%。

借鉴上述各参考文献,出乎意料的发现使本发明得以实现,即镁(和/或钙)与锡的组合应用于铝电池制造,该电池即便是在低电流密度下,可在极少氢气逸出(即在极高库仑效率下)下操作。可看出该效应是镁和锡之间的协同效应产生的结果。锡可存在于阳极中(与镁之固体溶液内)或电解质中(呈锡酸盐),或同时存在于阳极和电解质中。

在该系统中,锡可作为铝的活化剂,即锡可提高阳极负电位。该活

化作用包括当电池供电时，在阳极表面生成富锡层。所述富锡层是从宏观意义上来说的。在阳极表面锡可呈连续或不连续层，或呈分散的球状或粒状。应用反向散射影象的电子扫描显微镜可检出富锡层，且可应用同一显微镜设备经X射线分析可对其进行鉴定。

以往的研究工作基于将锡酸盐加入碱性电解质，以便控制附生的铝阳极腐蚀。出乎意料的是，我们发现到这种形式的锡可作为铝阳极活化剂，从而电池的放电在阳极表面留下一富锡层。为此电解质中的锡浓度最好是0.001-0.01 M。如果锡酸盐浓度太低，阳极可能呈过度活性，在这种状态下与完全无锡酸盐存在情况下比较，阳极腐蚀和氢析出则加剧。如锡酸盐浓度太高，锡逐渐沉积于阳极上，造成晶枝生成而可能使电池短路或损害电解质回流体系。我们发现电解质中的锡与阳极中的镁共同作用可使过度活性受抑制，因而低浓度锡酸盐是有益的。上述有些文献中，在电解质内也应用了锡酸盐，但其浓度较高，据推断是为了克服无镁存在时产生的过度活性。在实验室中无论其在试验电池中的状态如何，作为商业应用电池，其中的锡酸盐浓度不可能太高。

然而在某些应用中，电解质中的锡酸盐会产生一些问题，因而可使锡与铝生成合金而由阳极中提供锡。重要的是，至少部分而最好是全部锡在铝中呈固溶态。以沉淀形式存在的锡不能有效地作为活化剂，而实际上可形成腐蚀部分而产生有害效果。为了取得有效的活化效果，合金固体溶液中锡含量应大于0.005%，最好是0.01-0.20%。使溶解的锡含量高过约0.12% 是较困难的。锡在溶液也可以沉淀形式存在，但如上所述该形态是不希望产生的。为使锡达成所需形式，将合金在500 °C以上经溶液热处理，然后在足够速度下骤冷以抑制锡的沉淀。

为了决定是否在阳极中包含锡，和/或在电解质中含有锡，应考虑各种因素。电池操作时，电解质中的铝含量升高。在某些体系中，使用结晶器以使铝浓度降低，这时电解质中最好不含锡酸盐。另一方面，在

不含结晶器系统中，电解质中的锡酸盐则是有利的。

与铝镁锡合金比较，铝镁合金之铸造和制造较容易。如阳极中存在锡，电池可迅速地接通（即在高放电情况下，迅速活化至最高电压），然而实际上这并非十分重要。以铝镁锡所成电池和以铝镁加锡酸盐所成电池，可以相同最高库仑效率操作，但铝镁锡电池可在较广泛的电流密度下保持该效率，因此比较适宜。

阳极用铝的纯度应综合考虑其性能和价格。较纯的铝抗附生腐蚀性较好，按我们的实验大都应用99.999%的铝，但纯铝价格高，迫而使用99.99%以至市售99.85%的铝。杂质会加速腐蚀作用，但已知通过在合金中加入镁，可在一定程度上控制该腐蚀作用。如下所述可应用较低级别或甚至是市售级铝。

阳极中可含镁，可代替锡或与锡一起使用，最好其含量为0.05-5.0%，尤其是0.01-1.8%。镁有助于阳极对杂质之容忍性，并使铸成阳极晶粒细化。阳极中的镁，无论其是否含锡（最好含锡），可抑制氢析出因而提高电池的库仑效率。

阳极中可含钙，最好其含量为0.01-0.05%（重量）。钙有利于降低阳极之过度活化，并有助于在产生氢氧化铝沉淀之后电压之复原。

阳极还可含硼，最好其含量为0.01-0.05%。当与钙一起加入时，硼可细化晶粒，这样可使阳极铸造比较容易，并且不会产生伴生的缺点（如钛二硼化物所产生的缺点）——即使阳极钝化。

阳极中还任选含有铟，特别是其含量为0.01-0.20%。铟有助于降低阳极的过活化。

本发明的一个特点是，阳极或电解质中皆无需加入镓和锰。由于应用镓可在高电压和高能量密度下操作，因此一般阳极中应用镓。但有镓存在时，在高电流密度特别在在低电流密度时，不能避免阳极附生腐蚀和氢气析出。另外当有锡存在时，锰可导致钝化。

当电解质中含有溶解锡(如呈锡酸盐),铟的加入(如氯化物)有助于降低系统的过活化。因为铟在碱性电解质中的溶解度低,使其浓度一般受限制而小于0.001 M。

对于阴极的性质无严格要求,优选空气阴极或氧化银阴极。

碱性电解质pH值至少为10,最好至少为12,并且可含10-50% NaOH, KOH 或LiOH溶液。如当电池由海水活化时,电解质还可含NaCl。优选电解质是4 M NaOH和7 M KOH。其它的电解质可由KOH 或NaOH溶于净水或海水中配制而成。

各种铝电池的电解质的控制是一个问题,电池系统有效寿命一般受限于电解质的工作容量而非阳极的耗损或空气阴极的分解。放电时铝溶解,它形成络离子而最终沉淀成 $Al(OH)_3$ (水铝氧)或于含盐电解质中形成 $AlOOH$ (假勃姆石)。这种氢氧化铝沉淀须加于控制,以便延长电解质工作容量(电池寿命)并使电池可清理和再生。改进电解质工作容量的已知方法包括经阳极使电解质搅拌、流通或往复移动,而不使电解质滞留。

本发明也提供了所述电池的操作方法,通过铝阳极逐渐溶解于电解质中而使电池供电。该方法包括将晶种引入电解质中以中有助于铝从电解质中沉淀(如一般为氢氧化铝 $Al(OH)_3$ )。

当晶种加到电解质中时,有利于使溶解的氧化铝在其上沉淀。其结果是生成易于由电解中滤出或沉降的粗沉淀。此外晶种可降低电解质中含铝组分的过饱和,因而降低电导的变化。晶种的特性无严格限定,只要是铝组分可在其上沉淀。而一般优选用氧化铝三水合物作晶种。晶种材料最好是具很小粒径(如小于1微米)。晶种使用量可决定铝组分由溶液中析出的速度,因而影响电池之能量密度。晶种可从外面加入,但最好是当电解质中氧化铝浓度趋于饱和,或是当电解质已饱和时加入晶种。

虽然上述合金在开电路时具有相当好的抗附生腐蚀性能，而当电池不供电时，一般需要使电解质不与阳极接触。该技术及对电解质其它方面的控制是已知的，如可参见G.Scamans, Chemistry and Industry, 1986年3月17日, 192-196页。

虽然提供一种其中氢氧化铝仍存在于溶液中的大容量电解质而具高安培-小时的电池是可能的，但通常实际上是不可行的。一般来说，电解质容量是有限的，因而氢氧化铝浓度逐渐升高到过饱和程度而最后沉淀出，此过程一般经5-10小时操作。该沉淀点总是通过短暂的电池电压下降（于恒定电流密度）而显示出来。虽然原则上没有理由当电解质中的沉淀氢氧化铝仍循环时中止电池放电，但在实际上在这种情况下许多阳极已钝化，这种现象称之为氢氧化铝导致钝化(AHIP)。在本发明条件下，该AHIP不会发生，并且短暂下降后，放电电压可回复到接近于原水平。

参见附图所示，表明各种电池系统之腐蚀电流与阳极电流密度之对应图示。各结果基于应用60°C之5 M KOH 电解质。所有低于100 毫安/厘米<sup>2</sup> 数值是在一流通电池之高安培-小时试验后测定的。所有高于100 毫安/厘米<sup>2</sup> 之结果是应用电解固定重量损失法在1 厘米<sup>2</sup> 样品上所测得的。1 毫安/厘米<sup>2</sup> 之腐蚀电流相当于0.007 厘米<sup>2</sup> / 厘米<sup>2</sup> / 分之析氢。标有A、B、C和D的四条图线是分别用不同的系统绘制的，并说明如下。

线A 表示应用含0.7%镁, 0.09%锡和0.03% 镓之铝电极。在各阳极电流密度下，腐蚀电流大于20毫安/厘米<sup>2</sup>。可见当阳极中含镓时，阳极附生腐蚀和析氢现象是不可避免的。

线B 表示应用含0.089%锡的铝阳极。在广泛范围内的阳极电流密度下，腐蚀电流范围为12-30 毫安/厘米<sup>2</sup>。含锡而不含镁之电池在高库仑效率下操作，其效能未见降低。

线C 表示应用含0.5%镁和0.07% 锡的铝阳极。这种三元合金可在低至17毫安/厘米<sup>2</sup>，以至高达1安/厘米<sup>2</sup>的电流密度下，仍可保持90% 以上的效率(由约75毫安/厘米<sup>2</sup> 其效率为98-99%)。

线D 表示应用含0.5%镁之铝阳极。在这种情况下,5 M KOH电解质中含0.004 M 锡酸钠。在约60-150毫/厘米<sup>2</sup>的阳极电流密度下,此系统可替换线C 之三元合金。在约低于60毫安/厘米<sup>2</sup>时,库仑效率逐渐降低。在约高于150 毫安/厘米<sup>2</sup>时,电池输出电压下降。通过增加电解质中的锡酸盐浓度,可提高其上限,但对此可逐渐引起如上所述的其它问题的出现。

### 实验I

将各种合金与99.999% 铝进行比较。各合金铸造成叠箱铸型料(99.999%Al或99.995% Al基),或挤至成锭料,然后加工成8 毫米条料。在各情况下,叠箱铸型料或挤压料在600 °C下,热处理1 小时,冷水骤冷,然后冷压成3 毫米。

应用限定容量的电解质(100毫升),当阳极溶解时,使其电解质中Al(OH)<sub>4</sub><sup>-</sup> 铝酸根离子逐渐达到过饱和。经过约6 小时操作之后,分别向电解质加入1 克水铝氧(经预测)作晶种。

下述实例1-6 之数据得自一蓄电池模拟装置。各实验按恒定电阻进行,且其电流按60-80 毫安/厘米<sup>2</sup> 稳步递降。在各种情况下(预先终止者例外),经6-9 小时操作后,电解质中产生氢氧化铝沉淀。在各情况下电解质为5 M KOH(可以带或不带添加物)并在约60°C操作。实例1,2 和6 是未按照本发明之对比例。

### 实例1

阳极                    铝 + 0.04 % 镓 + 0.6% 镁

电解质添加物        0.004 M Na<sub>2</sub>SnO<sub>3</sub>

电池以高阳极腐蚀,于约35% 效率开始操作,2.5小时后,因阳极分

解而失效。本实验说明含镥阳极是不宜采用的。

#### 实例2

阳极 铝 + 0.09 % 锡

电解质添加物 0.004 M  $\text{Na}_2\text{SnO}_3$

此电池稳定操作超过10小时。电压约1.5 伏，当氢氧化铝沉淀后降至约1.4 伏。开始10小时操作之平均库仑效率约87%，但与含镁时比较效率较低。

#### 实例3

阳极 铝 + 0.2% 镁

电解质添加物 0.004 M  $\text{Na}_2\text{SnO}_3$

此电池稳定操作超过10小时。电压约1.5 伏，当氢氧化铝沉淀后降至约1.4 伏。开始10小时操作之平均库仑效率约95% 。

#### 实例4

阳极 铝 + 0.09%锡 + 0.9% 镁

电解质添加物 无

此电池称定操作超过10小时。电压约1.5 伏，氢氧化铝沉淀后电压降至约1.4 伏。开始10小时操作之库仑效率约98% 。

#### 实例5

阳极 铝 +0.77% 镁 +0.04% 铟

电解质添加物 0.004 M  $\text{Na}_2\text{SnO}_3$

此电池稳定操作超过9 小时。电压约1.5 伏，氢氧化铝沉淀后降至约1.4 伏（电解质述饱和度极大时，最低电压137 伏）。开始10小时放电期间平均库仑效率为99.1% 。

#### 实例6

阳极 99.999% 铝

电解质添加物 0.06 M  $\text{Na}_2\text{SnO}_3$

此电池稳定操作约5小时，随后输出之电流和电压不稳定性增加，在这期间平均电压和电流慢慢下降。经约8小时后，因锡晶枝在阳极上形成，阻塞电解质不能在电池中流动。其平均效率难于测定，但约为80%(±5%)。本实验说明，在电解质中采用0.01 M以上的锡酸钠是不适宜的。

实例7-9 说明在高电流密度下操作的电池。实例7和8 非本发明而用于与实例9 相比较。

#### 实例7

合金	纯铝(99.999%)
电解质	25% KOH, 3.5% NaCl, ~80°C
电流密度	~520 毫安/厘米 <sup>2</sup>
阳极电位	~-1.22 伏(vs Hg/HgO)
放电期	~10分钟
库仑效率	~96%

#### 实例8

合金	铝 +0.7 镁 +0.09 锡 +0.026 镓 (99.995 铝基)
电解质	25% KOH +3.5% NaCl, ~80°C
电流密度	~715 毫安/厘米 <sup>2</sup>
阳极电位	~-1.62 伏(vs Hg.HgO)
放电期	~10分钟
库仑效应	~97%

#### 实例9

合金	铝 +0.45 镁 +0.085 锡
----	--------------------

(99.995%铝基)

电解质	25% KOH + 3.5% NaCl, 约80℃
电流密度	~645 毫安/厘米 <sup>2</sup>
阳极电位	~-1.52 伏
放电期	~10分钟
库仑效率	>99%

实例7 说明与超活性合金比较纯铝之缺点。实例8 与实例9 之比较说明, 微量之镓成分可增加可用能量, 但效率差约2%。然而表明至少析氢增加四倍, 并且铝/镁/锡/镓系统在较低电流密度下, 效率逐渐降低。而证实铝/镁/锡合金是唯一可在整个电流密度范围内保持90% 以上效率的超活性合金。

实例10至13说明在低电流密度下各电池之操作情况。实例13是未按照本发明之对比例, 并用于与实例10-12 对比之用。

以下各结果得自相同的蓄电池模拟系统, 操作经>10小时, 即为高安培小数下之结果, 得自低电流密度。

四种不同合金由>99.995% 铝基料组成。

在各试验中, 锡是唯一的过活性组份, 并且由于镁对电压无影响, 在给定的电流密度下, 各合金显示相同电压。在75毫安/厘米<sup>2</sup> 时, 约-1.73 伏(vs Hg/HgO), 而对空气电极时约为1.45伏。

实例	合	金	电	解	质
10	0.5 镁	+0.07 锡	5M KOH,	60	℃
11	0.5 镁	+0.14 锡	5M KOH,	60	℃
12	0.5 镁		5M KOH,	60	℃
			+0.04M,	锡酸盐	

13	0.09锡	5M KOH, 60 °C			
		<u>库仑效率</u>			
实例	电流密度 / 池电压				
	75/1.45	36/1.60	17/1.66	11/1.68	
10	98-99	96	93	63	
11	96	94	66	-	
12	98-99	84	63	-	
13	85	-	37	-	

由上述结果可以看出，与不含镁的系统相比较，镁与锡的组合可维持高库仑效率，而不会对电压产生有害效果。

#### 实例14

下实例说明基于铝/钙/锡系统电池的应用。

合金	0.17% 钙 (99.999% 铝基)
电解质	5 M KOH + 0.004 M Na <sub>2</sub> SnO <sub>3</sub> , 约60 °C
试验	在约80毫安/厘米 <sup>2</sup> , 放电约8小时, 于TCR 模拟 电池 (即高安培小时)
效率	约78%
电压	约1.5 伏

虽然与镁+锡系统比较其效率较低，但阳极具有良好的电压复原性，并且在放电开始时，不显示出延时的过活化期。

说明书附图

