



[12] 发 明 专 利 说 明 书

专利号 ZL 95193459.7

[45] 授权公告日 2005 年 11 月 30 日

[11] 授权公告号 CN 1229522C

[22] 申请日 1995.6.2 [21] 申请号 95193459.7

[30] 优先权

[32] 1994. 6. 7 [33] NO [31] 942121

[86] 国际申请 PCT/NO1995/000092 1995. 6. 2

[87] 国际公布 WO1995/033870 英 1995. 12. 14

[85] 进入国家阶段日期 1996. 12. 6

[71] 专利权人 扬·斯塔波夫

地址 挪威莫斯 N-1507

[72] 发明人 扬·斯塔波夫

审查员 周 荃

[74] 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限责
任公司

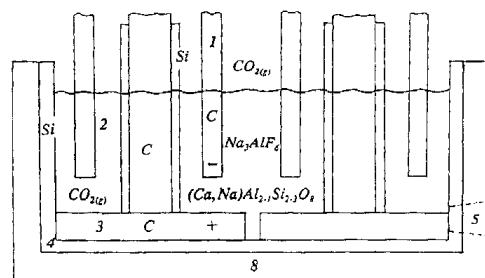
代理人 王维玉

权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 5 页

[54] 发明名称 制备硅、铝硅和/或铝金属的方法及
设备

[57] 摘要

本发明涉及一种使用溶于氟化物中的长石或含长石岩石在一个或多个炉中以单一步骤或多个步骤,连续地或批量地在熔槽中按要求条件制备出硅(Si)、也可以是铝硅合金(AlSi)和/或铝金属(Al)的方法以及实施该方法所用的工艺设备。制备铝硅合金是将步骤 I 中的贫硅残余电解液输送到第二炉中,并将铝金属加入(步骤 II)。在经过步骤 I 和或许是步骤 II 去除 Si 之后,由电解法将铝金属从第三炉中制备出(步骤 II)。本发明还涉及到使用将二个或两个以上炉结合成带有中间隔墙的工艺设备来制备硅、也许是铝硅合金和/或铝的技术,其中的隔墙设计成块将电解液从一炉输送到另一炉中。



I S S N 1 0 0 8 - 4 2 7 4

1. 一种用溶于氟化物中的长石或含长石的岩石连续地或批量地于电解槽中制备硅的方法，其特征在于步骤 I 在电解槽中通过电解制得高纯 Si，槽中的碳阴极(1)
5 放置在槽的顶部，碳阳极(3)放置在槽的底部，由此 CO₂ 气在电解期间由阳极(3)生成，且向上流经槽，与阴极(1)生成的硅接触，这样以除去制备并附着于阴极处的 Si 颗粒中的杂质，将分离的 Si 颗粒移到槽表面而将 Si 提取；可选择地包括步骤 II，在步骤 II 中，通过向槽中残留电解液中加入 Al 金属，而将剩余的 Si 和 Si(IV) 还原，沉积为铝硅合金；在步骤 I 的 Si 去除后或步骤 II 的残留 Si 和 Si(IV) 除去后，
10 可选择地包括步骤 III，在步骤 III 中通过电解制备铝金属。

2. 权利要求 1 所述的方法，其特征在于在步骤 I 中生成的硅通过 Si 在槽液顶部的富集而被提取移走，阴极从槽中拆下，附着于阴极上的 Si 被移走，又通过中断电解，将槽中和阴极上的 Si 沉淀到底部，之后再从底部取走。
15

3. 权利要求 1 的方法，其特征在于将来自步骤 I 的不含 Si 残余电解液直接电解制得金属 Al。

4. 权利要求 1 的方法，其特征在于步骤 II 包括加入一定量的铝或铝碎片，这样
20 使得从步骤 I 和富铝贫硅电解液中制得具有预先选定 Si 和 Al 比例的铝硅合金。

5. 权利要求 4 的方法，其特征在于铝硅合金中结合的 Al 被 NaOH 选择性地溶解，再将固体 Si 分离，CO₂ 气体加入到生成的富 Al 溶液中，在步骤 I 中，CO₂ 气体至少部分地在阳极上生成，结果得到 Al(OH)₃ 沉淀，并将沉淀出的 Al(OH)₃ 转化
25 成 Al₂O₃ 和/或 AlF₃。

6. 权利要求 4 的方法，其特征在于来自步骤 II 的富铝贫硅电解液在步骤 III 中电解。

30 7. 权利要求 5 的方法，其特征在于将来自步骤 II 的富 Al 贫 Si 电解液在加入了所得到的 Al₂O₃ 和/或 AlF₃ 后进行步骤 III 的电解。

8. 一种权利要求 1 中的方法所用的设备，其特征在于它包括至少一个用于制备 Si 的第一槽，第一槽包括一个具有硅绝缘层的槽壁(4)的盛液槽(8)、一个安装在盛
35 液槽(8)底部的至少由一碳块构成的碳阳极(3)，垂直碳块固定到构成碳阳极(3)的碳

块或碳块组上，而所述的垂直碳块被绝缘材料包绕，还有至少一个安装在盛液槽(8)顶部的碳阴极(1)；可选择性地含有第二槽，于第二槽中通过将金属 Al 加入到来自于电解槽的剩余电解液中，使剩余的 Si 和 Si(IV)还原并以铝硅合金形式沉淀；还可选择性地含有第三槽，经第一槽或第二槽去除 Si 后，通过电解在第三槽中制备金属 Al。

9. 权利要求 8 的设备，其特征在于第二和第三槽结合形成带有一中间隔墙的操作单元，这样第二槽中的电解液被设计成能被输送到第三槽中用于其后金属铝的制备。

10. 权利要求 8 的设备，其特征在于第一和第三槽被结合成带有一中间隔墙的单位，由此第一槽中无 Si 残余电解液被设计成能输送到第三槽中用于其后金属铝的制备。

11. 权利要求 8 的设备，其特征在于将第一、第二和第三槽按序连结成带有中间隔墙的操作单元。

12. 权利要求 8 的设备，其特征在于阳极或阳极组(3)可以替换，因为垂直碳块被固定到位于盛液槽底部的碳块阳极上，该垂直碳块设计成便于从盛液槽中取出，以便新的碳块被重新安装。

13. 权利要求 8 的设备，所述绝缘材料为硅。

制备硅、铝硅和/或铝金属的方法及设备

5 技术领域

本发明涉及一种使用溶解于氟化物中的长石或含长石岩石、连续地或批量地按要求比例在熔融电解质中制备出硅(Si)、铝硅(AlSi)和/或铝金属(Al)的方法,以及实现该方法所用的工艺设备。

10 背景技术

使用溶解于氟化物中的长石或含长石的各种岩石通过电解法控制生产高纯硅一直是个待解决的问题。

在 ISBN(82-993110-0-4)文献中(这是本发明人自己的公开出版物)已经记载了各种制造硅和硅铝合金的方法。各种贫铁矿物(各种岩石),如长石($(Ca, Na, K)Al_{2-1}Si_{2-3}O_6$)、佛晶岩、花岗岩、正长岩或斜长岩都可同 NaF 或冰晶石一起以混合物使用,接着用一铝(铝硅)阴极直接电解制备纯硅(99%)。相对于本申请而言,上述方法的缺点是当存在 Al 时,电解法制备硅的过程不能以控制地方式避免铝热还原反应产生。因为铝热还原反应是快速的,当电流通过电解槽还原出 Si(IV)的同时,许多铝被氧化并同时被使用。由于许多 Al 被消耗,则许多 Al(III)必须用电解法回收生成 Al,此外,生成了大量的硅铝合金。当今,这种情况是所不希望的,因为硅市场远远大于铝硅合金市场。此外,在 Al 上电解 Si 比用富 Si 的 Al 阴极表面需消耗更多的能量,因为固态 Si 在工艺温度 1000°C(Si 熔点=1410°C)时形成。固体硅具有半导体特性,因此具有高电阻。所生成的 Si 颗粒主要在熔融 Al 金属的外侧沉积,在这种情况下, Si 可以被当作阴极取代 Al。

在 ISBN 82-993110-0-4 中还指出含 1%Al 的 Si 晶体会在铝阴极表面、在铝硅合金中和 / 或在底部结晶。由电解生成的 Si 晶体可以从阴极中吸出、搜集和 / 或过滤出。在硅晶体上生成如此多 Al(1%)的缺点是难于通过熟知的提炼方法除 Al。因为观察到仅有少量的 Si 在表面和底部形成,这是难于用已知的技术去除。

在 ISBN 82-993100-0-4 文中的图 1 所示装置中缺乏细节,并没有揭示出硅是怎样从铝合金中分离出来的,也没有表示出电解质是如何倾注到出铝的电解槽中的。

US 专利 3,022,233 记载了以一个步骤和同一步骤中制备 Si、一种金属硅化物、氟碳化物和四氟化硅的方法,但 Si 的质量和操作温度并没有指明。起始原料

是溶于碱性金属氟化物或碱金属氟化物、或稀土金属化物中，阴极是金属制备的。

在美国专利 3, 405, 043 中，仅制备出 Si，重要的是原料(硅石)是纯态的。硅石原料溶解于冰晶石中，在电解过程中 Si 象粘球一样粘着在阴极上；阴极需定期地移开和清洁。阳极和阴极垂直紧挨着被固定住。

发明内容

本发明涉及一种用溶于氟化物中的长石或含长石的岩石在连续地或批量地于电解槽中制备硅的方法，其特征在于步骤 I 在电解槽中通过电解制得高纯 Si，槽中的碳阴极(1)放置在槽的顶部，碳阳极(3)放置在槽的底部，由此 CO₂ 气在电解期间由阳极(3)生成，且向上流经槽，与阴极(1)生成的硅接触，这样可除去制备并附着于阴极处的 Si 颗粒中的杂质，将分离的 Si 颗粒移到槽表面而将 Si 提取；可选择地包括步骤 II，在步骤 II 中，通过向槽中残留电解液中加入 Al 金属，而将剩余的 Si 和 Si(IV)还原，沉积为铝硅合金；在步骤 I 的 Si 去除后或步骤 II 的残留 Si 和 Si(IV)除去后，可选择地包括步骤 III，在步骤 III 中通过电解制备铝金属。

在本发明的方法中，步骤 I 中生成的硅通过 Si 在槽液顶部的富集而被提取移走，阴极从槽中拆下，附着于阴极上的 Si 被移走，又通过中断电解，将槽中和阴极上的 Si 沉淀到底部，之后再从底部取走。

在本发明的方法中，来自步骤 I 的不含 Si 残余电解液直接电解制得金属 Al。

在本发明的方法中，步骤 II 包括加入一定量的铝或铝碎片，这样使得从步骤 I 和富铝贫硅电解液中制得具有预先选定 Si 和 Al 比例的铝硅合金。

在本发明的方法中，铝硅合金中结合的 Al 可被 NaOH 选择性地溶解，再将固体 Si 分离，CO₂ 气体加入到生成的富 Al 溶液中，在步骤 I 中，CO₂ 气体至少部分地在阳极上生成，结果得到 Al(OH)₃ 沉淀，而沉淀出的 Al(OH)₃ 按已知的方法转化成 Al₂O₃ 和/或 AlF₃。

在本发明的方法中，来自步骤 II 的富铝贫硅电解液可在步骤 III 中电解。

在本发明的方法中，来自步骤 II 的富 Al 贫 Si 电解液在加入了按上述方法得到的 Al₂O₃ 和/或 AlF₃ 后进行步骤 III 的电解。

本发明还涉及到设备，该设备用于前述制备硅的方法。此设备的特征在于它包

括至少一个用于制备 Si 的第一槽（生产炉），第一槽包括一个具有硅绝缘层的槽壁（4）的盛液槽（8）、一个安装在盛液槽（8）底部的至少由一碳块构成的碳阳极（3），垂直碳块固定到构成碳阳极（3）的碳块或碳块组上，而所述的垂直碳块被绝缘材料包绕，还有至少一个安装在盛液槽（8）顶部的碳阴极（1）；可选择性地含有第二槽（生产炉），于第二槽（生产炉）中通过将金属 Al 加入到来自于电解槽的剩余电解液中，使剩余的 Si 和 Si(IV)还原并以铝硅合金形式沉淀；还可选择性地含有第三槽（生产炉），经第一槽和第二槽去除 Si 后，通过电解在第三槽（生产炉）中制备金属 Al。

在本发明的设备中，第二和第三槽结合形成带有一中间隔墙的操作单元，这样第二槽中的电解液被设计成可被输送到第三槽中用于其后金属铝的制备。

在本发明的设备中，第一和第三槽被结合成带有一中间隔墙的单位，由此第一炉中无 Si 残余电解液被设计成可输送到第三槽中用于其后金属铝的制备。

在本发明的设备中，第一、第二和第三槽按序连结成带有中间隔墙的单位，通过将电解液从第一槽输送到第二槽，再从第二槽输送到第三槽中，硅、铝硅合金和铝可以连续地在步骤 I、II 和 III 中分别制备出。

在本发明的设备中，阳极或阳极组（3）可以替换，因为垂直碳块被固定到位于盛液槽底部的碳块阳极上，该垂直碳块设计成便于从盛液槽中取出，以便新的碳块被重新安装。

本发明将在下文中参照图 1~7 和步骤 I ~V 进行更详细的解释。

附图说明

在图 1~3 中，制备 Si、AlSi 和 Al 是在步骤 I ~III 中在三个不同的炉中分别产生的。图 1 表示采用碳阳极（+，在底部）和碳阴极（-，在顶部）电解制备 Si（步骤 I）；图 2 表示装有搅拌器的还原槽，用于制备 AlSi（步骤 II）。图 3 表示用一惰性阳极（+，在顶部）和碳阴极（-，在底部）电解制备 Al（步骤 III）。

在图 4 中，制备 Si、AlSi 和 Al 在彼此上下衔接的两个炉中完成。步骤 I 和步骤 II 在第一炉中（图 4a）中进行，步骤 III 在第二炉中（图 4b）进行。

在图 5 中，制备 AlSi 和 Al 在同一炉中（串联形式）的两个阶段完成。

在图 1 和图 5 中，制备 Si 在第一炉中完成（步骤 I），制备 AlSi 和 Al 是在串联

同一炉中以两步骤的方式完成。

各个炉(图 1 和图 5)之间可以串联联接。硅在步骤 I 中制备,而铝在步骤III中制备。

- 5 在步骤IV中,氟化物被循环利用,而制 Al 后的残剩电解液中的不利用的化学物质被生产出(图 3、图 4b 和图 5)。在步骤 V(图 2、图 4a、图 5 和图 7)中, Si 通过加入氢氧化钠或硫酸从 AlSi 中提炼出,如图 7 所示。工艺中有用的化学物质在步骤 V 中,并在步骤III中被使用。

10 具体实施方式

- 在图 1 中,硅通过电解含长石的电解液制备;长石溶解于含氟化物的溶剂中,如冰晶石(Na_3AlF_6)、氟化钠(NaF)或氟化铝(AlF_3)。含长石的电解液是指使用各种类型的在复合物 $(\text{Ca}, \text{Na})\text{Al}_{2-1}\text{Si}_{2-3}\text{O}_8$, 中有浓缩长石、在同样化合物中的废长石和含长石的各种岩石。在图 1 中,阴极(1),比如碳阴极连接在槽的顶部,以便 Si 以固体 Si(2)形式沉淀在阴极上。由于 Si(s)的密度是 2.3, 它比电解质的密度(其密度大约 2.1, 溶解于冰晶石中的 K-长石)要大,因而 Si 颗粒下沉。在整个不被替换的碳阳极(3)的底部均匀产生的二氧化碳 $[\text{CO}_2(\text{g})]$ 从电解液中上升,并携带着 Si 颗粒一起上悬到表面(悬浮)。并不粘附到阴极上的硅可以从电解液表面移走。如果加入 BaF_2 , 则在槽顶部富集 Si 的过程更为彻底。加入 BaF_2 可提高槽液密度。用 1000 °C CO_2 气体汽提的效果使得制得 Si 的纯度接近“太阳能电池”所需 Si 的质量。由于油的供应正趋于耗尽,所以制备太阳能电池用的纯 Si 是很重要的。另外,炉子具有电绝缘体(4),它既抑制 CO_2 从侧壁产生。还与此同时尽可能防止含有 Si(IV)的氟化物、以及 Al 和 Si “金属”的电解液的腐蚀。此绝缘体还必须不能污染新生的 Si。优选地是采用含 Si 绝缘材料或着是纯 Si 绝缘体(4),因为其熔体对 Si(IV)富集(以及在碱性盐中是富集的)。此外,图 1 由一外部绝缘体构成,它防止由硅构成的容器壁(内部)被氧化。长石 / 冰晶石熔体容放在由 Si 构成的矩形盛液槽(壁)内,其中,优选的是矩形碳阳极放置在底部。槽底部可用一个或多个碳阳极覆盖。每一个碳棒都被固定到每一个阳极板上。碳棒套有一 Si 套筒以防止电流直接水平地通过到垂直放置的碳阴极上。泄液孔(5)位于底部。

30

为了将 Si 从槽中移走,一种方法是将以小颗粒状形式分散于电解液中的浓缩 Si 从槽子顶部抽吸掉;另一种方法是将已粘附于阴极上的 Si 从阴极上移走。在这两种情况下,移走的 Si 都用惰性气体(CO_2 、 N_2 或 Ar)冷却到低于 600 °C。

35

如果将 Si 从阴极上剥离的话,必须做的是将阴极先从电解槽上取走,再将其冷却到所需温度。阴极或采用机械方式剥离,或是下降到任意浓度组合条件的水

/H₂SO₄/HCl 的混合物中。

在上述两种情况下, Si 从电解液顶部取走, 或从取走的阴极卸下, Si 从电解液顶部取走的办法, 而将悬浮在槽液上的 Si 沉淀出来。如果少量的长石加入到冰晶石中或不加入 BaF₂, 则 Si 比电解溶液要重。Si 从阴极卸下并同时留在槽液中。使 Si 沉淀的唯一可能方式是在规定量的 Si 被电解后, 将电解过程停止一段时间。当 Si 沉淀后, 它可以从底部被抽吸上来, 它是富集了固体 Si 颗粒的液体电解质; 或者从底部在贫 Si 电解液被排出之前先被导出槽外, 贫 Si 电解液处于较上层部位。将阴极连接到顶部的优点是 CO₂ 从溶液吹扫。由于高电流密度, 在电解液中产生湍流, 则四处悬浮的 Si 颗粒与 CO₂ 形成良好的接触。这样必然使生成的 Si 被提取。另一优点是处于底部的 Si 颗粒不会粘附到底部阳极上; 而如果底部被阴极连接, 则阳极常会处于这种粘附状态。在阳极附近, Si 颗粒总是以层状的方式围绕在阴极附近。试验结果表明, 随着电解过程进行, 无论阴极是处于顶部或底部, 此层状物是会形成并增厚。此层状物主要由 Si 颗粒和贫 Si(IV)的电解液构成。

将在电解液中分散并从槽中取出的 Si 冷却并粉碎。这些颗粒用指定密度的液体, 如 C₂H₂Br₄ / 丙酮混合物进行分离。C₂H₂Br₄ 的密度是 $d=2.96\text{g/cm}^3$ 。Si 颗粒 ($d=2.3\text{g/cm}^3$)比液体混合物的所选择组份要轻, 因此上浮到液体表面, 而电解液 ($d=3\text{g/cm}^3$)则沉降底部。电解质不溶于 CHBr₃/丙酮混合物中, 因此此混合物很容易再被使用。

在进一步提炼 Si 颗粒之前, 将来自于 C₂H₂Br₄/丙酮液体的 Si 颗粒液体过滤、干燥, 并加入尽可能高浓度的水/H₂SO₄/HCl 混合物。

加入水 / H₂SO₄ / HCl 会进一步提炼出超过 99.7%的 Si。其中存在的少量的 Si₃Fe 和 SiAlNa 合金颗粒将作为 Fe、Na、Al 和其它痕迹量元素的杂质被去除, 因此制得精炼的纯 Si。

在图 1 的步骤 I 中, 所有或大多数 Si 在电解过程中被提取。如果 Al 碎片或冶金级 Al[Al(MG)]加入其中(图 2, 步骤 II), 在进行 Al 电解之前(图 3、步骤 III), 未被沉淀的 Si 可以被移走。加入 Al 碎片或 Al(MG)(图 2, 图 4a 和图 5)同时用搅拌棒(6)搅拌则会对图 1-7 所示的工艺过程产生两大优点。第一, 对于没有从电解槽中移走的 Si 颗粒可以合金化到加入的 Al 中而被去除; 第二, 在电解槽中的未被还原的 Si(IV)的残余物可被加入的 Al 还原。在这两种情况下, Si 将被有效地去除, 并生成 AlSi, 经证实它比高 Al 盐熔体更重, 形成本身相态, 并可被从底部排出。

如果 Si 从电解槽中以 AlSi 形式取出, 则富 Al(III)电解质可电解生成 Al 金属(图 3、4b 和 5, 步骤 III), 由于加入的 Al 处于底部使得阴极是 Al 而不是石墨。在图 3、4b 和 5 中, 在电解槽顶部的阴极仅仅由于改变了电流方向(改变极性)就成为了阳极, 如果阳极应该生成氧, 则碳阳极可用惰性阳极(7)取代。

5

如果 Si 要从 AlSi 合金中被提取(图 7, 步骤 V), 使用氢氧化钠(NaOH)溶解 AlSi, 则 CO_2 的量由于生成了苏打(Na_2CO_3)和 / 或 NaHCO_3 而被减少。减少了 CO_2 的使用量则有利于减少排放物(温室作用)。在从 AlSi 中提取 Al (步骤 V) 时由于采用了低浓度的 NaOH, 则生成了 Al_2O_3 和 AlF_3 , 同时提取了金属 Si。在此步骤中生成的 Al_2O_3 和 AlF_3 可根据需要加入到步骤 III 中。硫酸(H_2SO_4)也可用来从生成的 AlSi 中提取 Si(步骤 V)。

当 Al 从步骤 III(图 3、4b 和 5)中被制备时; 必须用贫 Al 富氟氧代的剩余电解液(步骤 IV)。与氧化物并存于混合物中的氟化物(F⁻)应该回收并循环使用, 而 Na、K 和 Ca 的氧化物(“碱性物”)被使用。将 H_2SO_4 加入到残余电解液中, 则生成氢氟酸(HF), 冰晶石、NaF 和 AlF_3 可从此步骤中回收。氧化物转化成硫酸盐(SO_4^{2-}), 硫酸氢盐从硫酸钠和/或硫酸钾中形成, 作为回收 H_2SO_4 的中间产物。

在图 1 和图 4a 中, 在 Al 加入之前通过电解单独制备出 Si (步骤 I)。采用这种方式, 只要是进行电解就能制出 Si。人们所希望是制备出尽可能多的高纯度 Si(超过 99.8% Si)。正是由于采用了电解和阴极气体(CO_2)的充分流动才导致了生成高纯 Si。由于 CO_2 气体向流动, 已脱离了液体电解液的 Si 颗粒被输送到表面(悬浮), 尽管 Si 颗粒($d=2.3\text{g/cm}^3$)比电解液($d=2.1\text{g/cm}^3$)要重。Si 颗粒比电解质重的情况事实上是一优点, 因为颗粒在槽液中滞留更长的时间, 这样会取得与 CO_2 气体更好地接触, 结果会得到更高的提取率。 CO_2 气体在槽液中上升充分流动也抑制了浆料的沉积, 结果电流的通过(离子迁移)变得更容易了。将碳阴极放置在槽的顶部而不是放在肩部是一优点。用放置在底部的碳阴极很难制备出大量的 Si, 因为 Si 是固体物质, 必须逐步地取走。如果不取走的话, 电阻和电压将会不合算地升高, 因为 Si 以连续增厚层状方式沉积在底部。

30

为了使 CO_2 气体穿过电解液的通流尽可能地平稳(层流), 安装一种由硅构成的绝缘体壁(8)。那么 CO_2 气体将会从阳极表面(底部)均匀产生, 并在向上流经电解液时尽可能好地分布。如果不使用绝缘体, 电流除了流经槽底外还会流经槽壁, CO_2 气体也会在槽壁上生成。这将会导致 Si 颗粒与 CO_2 气体和电解液接触状况不好, 多数材料在冰晶石中都会遭到腐蚀。因为在电解槽中生成 Si, 所以在槽壁中采用铸造 Si 是很自然的。

35

- 如上所述,参照图 1 和图 4a,在加入 Al 之前通过电解(步骤 I)独立地制备出 Si。步骤 I 的主要优点之一是有可选择调整 Si 量。使其满足提取铝硅合金或铝的需要。例如,如果全部或大部分 Si 被电解或去除。则没有或几乎没有铝硅合金形成,且
- 5 有可能将长石中的所有或大多数铝[Al(III)]用于制备金属铝。举三个实施例如下。

实施例 1

- 如果选用组成为 $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ 的长石,则 Si/Al 的摩尔比为 1。假如电解进行足够长的时间,使得全部 Si 被电解并移走。则步骤 III 将是过氟化的。当 Si 的最后
- 10 残余物被沉淀出时,形成诸如 Al 和 Na 的其它金属,这样会污染 Si。如果全部硅被电解和移走,则等量多的 Al 通过电解从长石中制备出来(步骤 III)。

实施例 2

- 如果选用相同的长石($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$)并进行电解,直到 50%的 Si 被电解出并移走,
- 15 剩余的 50%的 Si 由于铝热还原反应被去除。在大约 1000°C ,有可能生成最大值为 50% Si 合金(AlSi50)。这需要消耗 50%的 Al,因此仅仅最后剩下的 50%的 Al 可以通过电解法制得(步骤 III)。

实施例 3

- 20 如果对组成为 $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ 的长石进行电解,直到 67%或更少些 Si 被电解并移,那么在 Na-长石中的全部 Al 必须用于通过铝热还原反应去除剩余部分(33% Si),因为 Si/Al 摩尔比=3,这就意味着在 Na-长石中的全部 Al 都被消耗,没有净 Al 残留。因此,没有可以被电解的净 Al(III)。

- 25 本发明还涉及到使用这样的工艺设备制备硅、或许铝硅合金和 / 或铝的方法。该设备是将两个或两个以上的炉子结合成一带有中间隔墙的整体单元,隔墙设计成可以将电解液从一炉中输送到另一炉中。电解液的输送可以采取利用隔墙和电解液表面高度差的手段,或者如果隔墙已延伸到顶部则采用泵送方式。

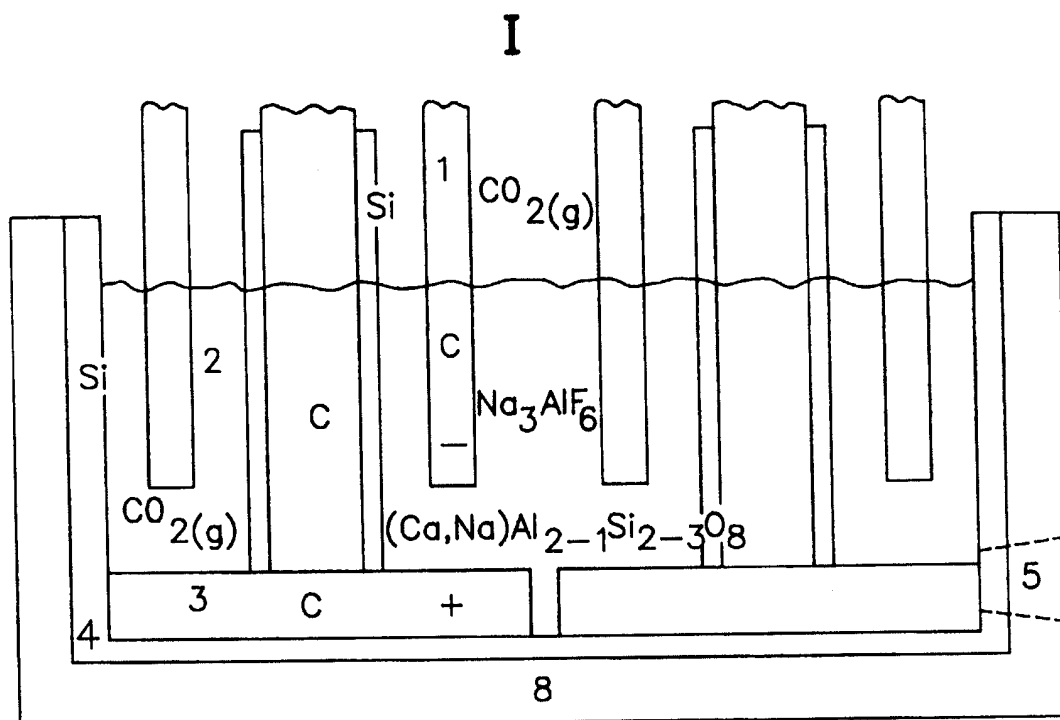


图1

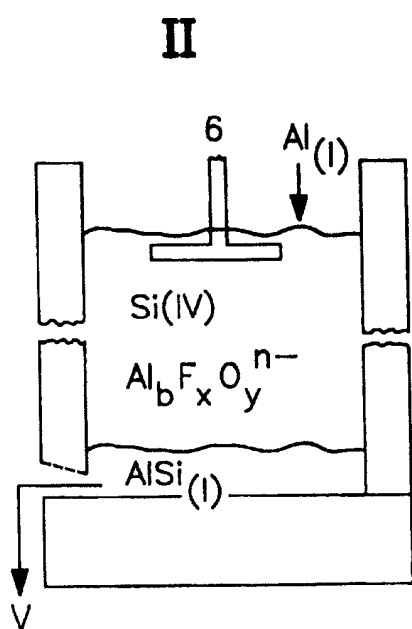


图2

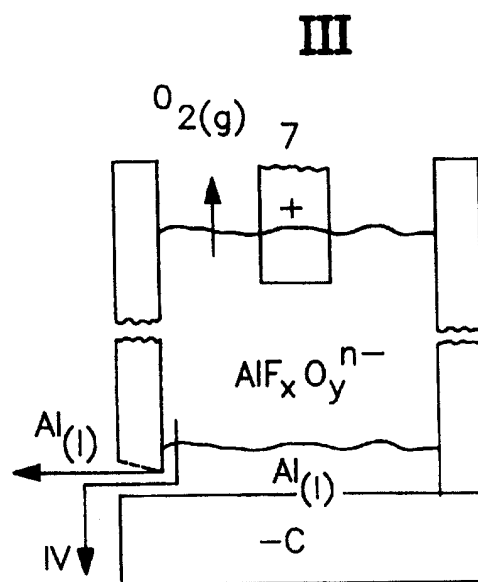
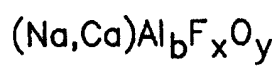


图3

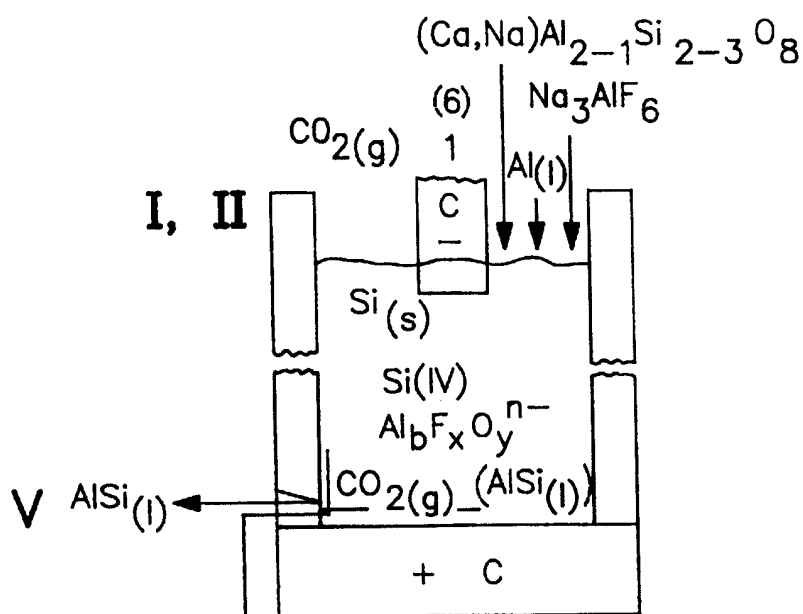


图4A

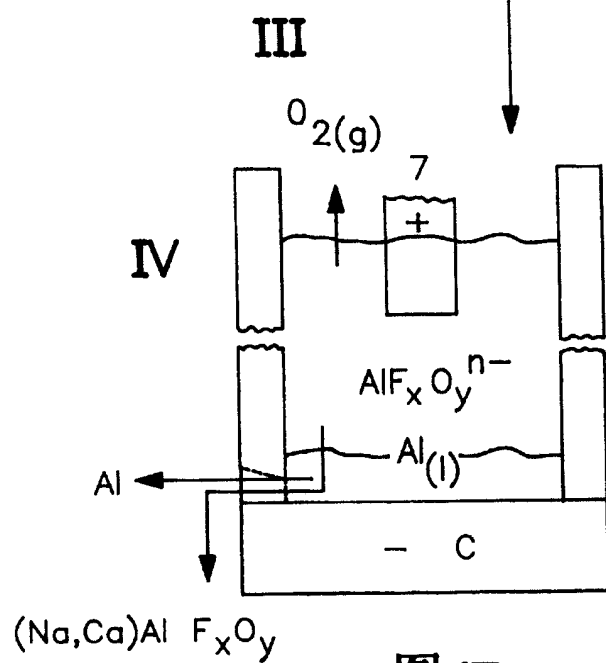


图4B

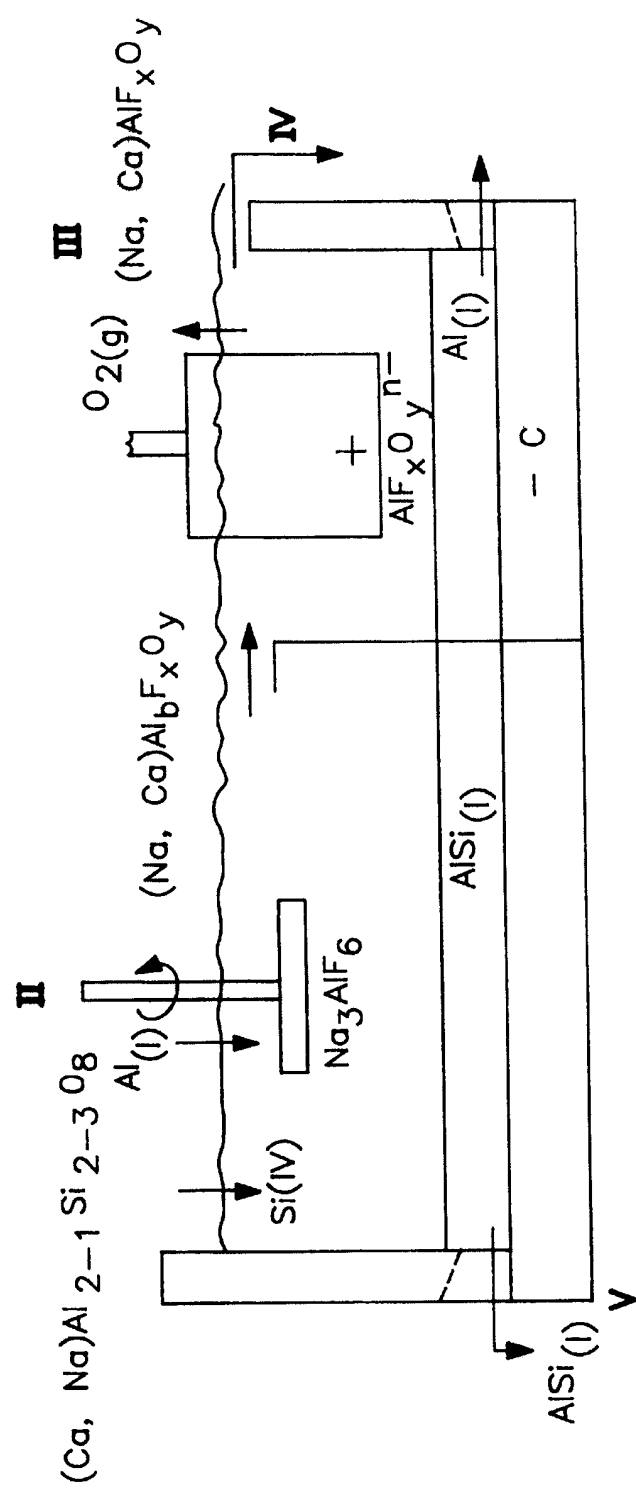


图5

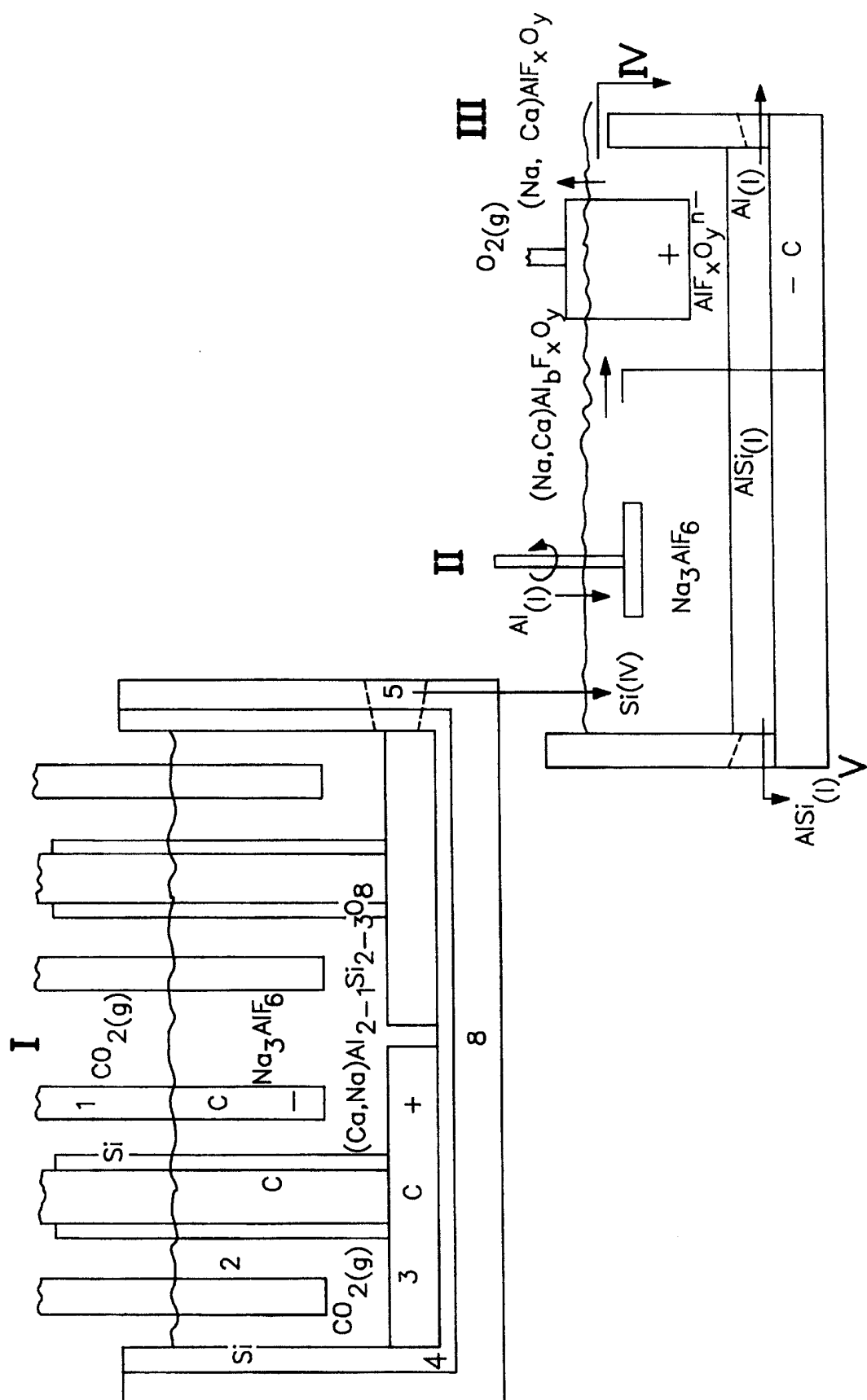


图6

