

用于产生氢气的硅粉体组合物、方法、反应器及装置

技术领域

本发明具体的涉及用于产生氢气的硅粉体组合物、方法、反应器及装置。

背景技术

氢气是一种具有良好前景的新能源。但是，氢气的高密度储运存在很多技术瓶颈。另一种方法是采用化学方式现场制备氢气以满足应用要求。

用金属氢化物进行化学反应制备氢气，能够获得较高的能量密度，例如： $\text{LiH} + \text{H}_2\text{O} = \text{LiOH} + \text{H}_2$ 、 $\text{NaBH}_4 + 4\text{H}_2\text{O} = \text{NaB}(\text{OH})_4 + 4\text{H}_2$ 。但是金属氢化物通常较为昂贵，而且毒性较大，因此不适合民用，仅适合军用。

硅能够与强碱溶液反应产生氢气， $\text{Si} + 2\text{NaOH} + (1+n)\text{H}_2\text{O} = \text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O} + 2\text{H}_2$ 。硅具有价格低廉、安全环保等优点；但是硅与强碱溶液的反应过于猛烈、难于控制；另外，为了使得硅的反应充分完全，必须提供足够计量比的强碱，因此提高了成本，降低了环保性。曾有报道在民间作坊中，将硅铁合金粉、氢氧化钠、水灌入压力容器内反应制备氢气以便灌充玩具氢气球，结果反应失控发生爆炸，造成了人员伤亡。

中国专利申请 201110076118.9 提供了一种以发生氢气为目的的硅粉体组成物，其由含硅粉末和可形成水中溶解度小于 1% 的硅酸盐的金属元素的化合物以及碱性物质构成，氢气发生使用的硅粉体组成物同水接触能平稳产生氢气，且发生的氢气会转换成能源。该项技术虽然指出了一个合理的方向，但是离实际应用仍有一定的距离；另外，对反应充分度等定量指标没有充分测试。

发明内容

本发明所要解决的技术问题是为了克服现有的用硅粉体组合物制氢的

技术，离实际应用仍有一定距离的缺陷，而提供了一种用于产生氢气的硅粉体组合物、制氢方法、反应器及装置。本发明的硅粉体组合物是不需要预处理、不含强腐蚀性碱、保存不当而遇水时也不易燃爆的优化配方；本发明的反应器结构及装置的实用性也较强。

本发明人对背景技术 201110076118.9 进行了研究、思考和分析，认为：

虽然使用以 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 为代表的沉淀剂来复活 NaOH ，使得 NaOH 的用量可以小于计量比，但是用量仍然不可能太低，所以组合物的环保性仍然不够完美。

从本质上来看， NaOH 可以看成是 $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{H}_2\text{O}$ ，因此包含了“隐形结晶水”。这种“隐形结晶水”的存在，导致了组合物在刚开始接触极少量水时，仍然会发生较为剧烈的反应。这就使得在应用系统的设计中，要求反应器能够承受这种较为剧烈的反应所导致的高温，而提高了反应器外壳的成本；并且还需要一个缓冲容器储存这部分在短时间内产生的过多的氢气；另外，剧烈反应造成的短时间大流量，会推动组合物粉末移动，破坏反应器内部结构的稳定性。如果采用对组合物高温加热预反应的方法来解决这个问题，会导致工艺成本的增加、储氢重量密度的降低、部分硅粉的浪费。

同时，背景技术只提供了组合物配方，没有提供反应器结构、装置，这就意味着离实际应用仍有一定的距离。

因此，为解决上述技术问题，本发明提供了下述技术方案：

本发明首先提供了一种用于产生氢气的硅粉体组合物，其包含硅粉、沉淀剂以及碱性物质，其中，所述的碱性物质是碱金属的弱酸盐；所述碱性物质与硅粉中的硅的质量比为 0.06:1~4:1，进一步优选 0.12:1~2:1，最优选 0.25:1~1:1；所述的硅粉为平均粒径小于等于 1mm 的硅粉；所述的沉淀剂与硅粉中的硅的摩尔计量比大于等于 0.12:1，小于等于 4:1。

选用碱金属弱酸盐的优点是：

A，消除了“隐形结晶水”，不需要高温加热预反应就可避免刚开始使用时的较为剧烈的反应，因此不会导致工艺成本的增加、储氢重量密度的降低、

部分硅粉的浪费。

B, 虽然仍有碱性, 但是显著低于 NaOH, 其腐蚀性已经大大降低, 因此具有较好的环保性。

C, 由于碱性弱于 NaOH 等原因, 组合物在常温下接触水, 不易启动反应, 而需要在开始反应时提供短时间的预加热, 反应启动后即不再需要加热而能够依靠反应热维持温度。这一特点虽然会略微增加应用系统的复杂性, 但是却显著提高了组合物的安全性, 当储运不当而意外接触常温的水时, 尤其是较多的常温水时, 不易因为产生大量氢气而导致燃爆危险。

本发明中, 所述“碱金属的弱酸盐”中的碱金属优选 Na 和/或 K, 选择钠可以使本发明具有较低的成本及良好的易购性。

本发明中, 所述“碱金属的弱酸盐”中的弱酸的 pKa (在常温 25℃时), 优选为大于 9.50, 小于 13.00, 如弱酸有多个 pKa, 以数值最大的 pKa 为准进行判断。因为 pKa 小于 13 的弱酸的碱金属盐, 与 pKa 大于 13 的相比: 碱性更弱, 环保性更好; 市场价格较低 (生产过程中的环保成本较低是其中的一个原因); 吸潮性更低, 更有利于组合物的干燥度及储运的稳定性。pKa 大于 9.5 的弱酸的碱金属盐, 与 pKa 小于 9.5 的相比, 具有更好的反应活性。所述弱酸, 进一步优选为偏铝酸 (pKa=12.20)、偏硅酸 (pKa=11.80) 和碳酸 (pKa=10.25) 中的一种或多种。最优选为碳酸, 其具有很弱的碱性以及很低的成本, 常被用于食品工业, 因此环保性最佳。同时, 这三种优选的弱酸的酸根, 与本发明实施例中沉淀剂中的 Ca 离子所形成的盐, 在水中的溶解度小于 1%; $\text{Ca}(\text{AlO}_2)_2$ 是高铝水泥的主要成分, CaSiO_3 是普通水泥的主要成分, CaCO_3 是大理石的主要成分。这能够略为增强碱性, 避免碱性过弱。

值得澄清的是, 背景技术 201110076118.9 也有提及 NaAlO_2 , 但却是作为沉淀剂来使用的。由于背景技术发明人没有意识到 NaAlO_2 可以作为优选的碱性物质, 所以即使使用 NaAlO_2 作为沉淀剂, 也另外使用 NaOH 作为碱性物质, 因此不能取得本发明的优化效果。

更为有趣的是, 从本发明的一个既采用 NaAlO_2 作为碱性物质, 又采用

NaAlO₂ 作为沉淀剂的实施例中，可以看到 NaAlO₂ 并不是优选的沉淀剂。本发明人试图进行理论分析，认为可能是因为铝离子虽然能够在中性环境中很好地沉淀硅酸根离子，但是在碱性环境中沉淀硅酸根离子的能力不是很强。

本发明中，所述的沉淀剂为水中溶解度小于 1 克/100 克的金属硅酸盐之中的金属的化合物，且该化合物可在水中电离，例如（但不限于）金属氧化物与金属氢氧化物的至少一种，所述的金属可以为（但不限于）Ca、Mg、Fe 和 Al 中的一种或多种，优选为 Ca。

本发明中，所述沉淀剂中的金属元素，与所述硅粉中的硅的摩尔计量比，优选 0.25:1~2:1，最优选 0.5:1~1:1。

本发明中，较佳的，所述碱金属的弱酸盐的酸根与所述沉淀剂中的金属元素所形成的盐，在水中的溶解度小于 1 克/100 克。

本发明中，所述的硅粉中硅的纯度下限可为 25%（w/w），优选大于等于 50%（w/w），进一步优选大于等于 90%（w/w）。因此所述硅粉可以是硅合金粉，例如硅铁合金粉（钢铁行业的脱氧剂），常用的含硅量为 70~80%，具有一定的成本优势。硅合金粉虽然能够降低成本，但是也降低了产氢重量密度。含硅量更低的硅合金粉并非市售可得，但其技术效果可以在本发明实施例的基础上直接推算得知。当含硅量低于 25%时，产氢重量密度、实用性已经很低。

所述的硅粉优选平均粒径小于等于 0.3mm，进一步优选平均粒径小于等于 0.1mm。这不仅是因为化学常识中的越细的粉末化学活性越高；另一个原因是，细的硅粉，堆积密度较小，一定质量的堆积体积较大，因此组合物的堆积体积也较大，有利于保证反应中及反应后没有显著的膨胀，更便于填充在固定床反应器中，从而提高实用性。同时，平均粒径进一步优选大于 0.01mm，这是因为平均粒径小于 0.01mm 时，加工成本会急剧上升。

本发明中，所述的组合物为各组分混合前的套装组合物形式，或者为各组分混合后的形式。本发明的组合物还可包含少量水，或者水和碱性物质以及硅反应得到的物质。例如，碱性物质在某些情况下也许会出现吸潮现象，

吸潮后，少量水和碱性物质以及硅进行反应，形成了一种组合物，其包含碱性物质、硅，以及水和碱性物质以及硅进行反应后得到的物质，这种组合物当然也在本发明的组合物所涵盖范围之内。

本发明还提供了一种制备氢气的方法，其包含下列步骤：在反应温度为 40℃~160℃下，将上述硅粉体组合物和水进行反应，即可。

其中，所述的反应温度较佳的为 80℃~120℃。较佳的，上述方法包含下列步骤：将温度在 40℃~160℃（优选 80℃~120℃）的所述组合物接触水进行反应，即可。

在本发明的的大部分实施例中，用 90℃ 以上的热水浸泡反应器来启动反应，证明了启动温度在 80~100℃ 是合适的。此后的运行阶段，由于保温罩的保温作用，反应热主要通过水的蒸发带走，并且由于浓溶液的沸点高于 100℃，所以反应器内部的温度可以达到 100~120℃。温度变化对热力学活化的影响是连续的，而不是突变的，当碱性物质用量较大碱性较强时，40~80℃ 的范围也是可以启动反应的，但是不作为优选。类似的原因，当碱性物质用量较大局部浓度较高时，浓溶液沸点可能达到 120~160℃。另外，在实际应用时可能需要设计大型反应器，水和氢气的质量流量会较大；为了降低流体阻力，可能需要提高反应器运行压力以减小体积流量，此时纯水的沸点就有可能达到 120℃ 甚至更高，浓溶液沸点完全有可能达到 120~160℃。当反应器运行压力（表压）为 1~9Bar 时，氢气的体积流量降到 0.5~0.1 倍，已经能够显著地减小流体阻力，更高的压力会提高反应器外壳的体积、重量与成本，并非优选。

本发明进一步提供了一种反应器，所述反应器中含有本发明前述的组合物。其中组合物的成分、含量及优选条件均同前所述；所述反应器上设有进水接口和出氢接口。

优选的情况下，所述反应器中的进水接口与出氢接口不在一个平面上。
优选的情况下，所述反应器为圆柱形。

在所述的反应器上，还可设有可拆卸接口，该接口可用于连接其他装置

的适配接口。例如其他固体容器通过该接口进行拆卸。

本发明以封闭紧凑的反应器承装所述组合物，与背景技术201110076118.9以烧杯承装组成物相比，显著提高了实用性；尤其是当采用廉价一次性材料充当反应器外壳时，在反应装置上更换一次性反应器，就像更换电池那样容易。本发明提供的组合物及方法，反应平稳，不会有短时间的爆发式大流量冲击，因此才能采用封闭紧凑的反应器结构；同时，反应温度不会过高，因此才能采用廉价的反应器外壳材料。与对比实施例进行比较，就能看清这两点。

本发明还提供了一种用于制备氢气的反应装置，其包含上述反应器以及液体容器，所述液体容器与反应器直接或间接连接，所述的连接为固定或可拆卸连接。

所述的液体容器，可以是液体管路。

所述的反应装置，还可以包含加热器。所述加热器，优选为靠近或嵌入所述反应器。

所述反应装置，可以包含包裹所述反应器的保温罩。

较佳的，在所述的反应器和液体容器之间还可通过液泵连通。所述的液泵为容积式液泵或动量式液泵，优选容积式液泵，所述的容积式液泵优选蠕动泵。通过液泵，可以控制液体容器中的包含水的液体进入反应器的速度。

在不违背本领域常识的基础上，上述各优选条件，可任意组合，即得本发明各较佳实例。

本发明所用试剂和原料均市售可得。

本发明的积极进步效果在于：用本发明的组合物进行制备氢气的反应时，反应平稳可控；反应器封闭紧凑；并且具有高环保性、高安全性和高实用性的优点。

附图说明

图1为具体实施方式中所用的制备氢气的装置图，其中，1为液体容器，

2 为液泵, 3 为反应器, 4 为加热器, 5 为保温罩。箭头方向为流体流动方向, 以及氢气的出气方向。

具体实施方式

下面通过实施例的方式进一步说明本发明, 但并不因此将本发明限制在所述的实施例范围之中。下列实施例中未注明具体条件的实验方法, 按照常规方法和条件, 或按照商品说明书选择。

本发明涉及到的原料均市售可得:

名称	规格	供应商
硅粉	纯度 99%; 通过 200 目	山东华昊硅业
硅铁合金粉	纯度 70%, 钢铁行业脱氧剂; 从过 80 目粉末中精筛出 200 目;	上海新星
硅粉	纯度 99%; 精筛出平均粒径约 0.3mm	山东华昊硅业
硅粉	纯度 99%; 精筛出平均粒径约 1.0mm	山东华昊硅业
NaAlO ₂	化学纯; 粉末状	国药集团化学试剂有限公司
Na ₂ SiO ₃	纯度约 97%; 粉末状	青岛东岳泡花碱有限公司
Na ₂ CO ₃	分析纯; 粉末状	国药集团化学试剂有限公司
NaHCO ₃	分析纯; 粉末状	上海凌峰化学试剂有限公司
Na ₄ SiO ₄	纯度大于 87%; 粉末状	青岛东岳泡花碱有限公司
K ₂ CO ₃	分析纯; 粉末状	上海凌峰化学试剂有限公司
NaOH	珠状, 粒径 0.5~1.0mm	上海盛万精细化工
CaO	分析纯; 打碎成粉, 筛选通过 50 目的	上海凌峰化学试剂有限公司
Ca(OH) ₂	分析纯; 粉末状, 约 200 目	上海凌峰化学试剂有限公司
MgO	分析纯; 粉末状, 约 200 目	上海埃彼化学试剂有限公司
FeO(OH)	化学纯; 粉末状, 约	上海润捷化学试剂有限公司

	100 目	
一次性医用注射器	10ml, 塑料	江西洪达医疗器械集团有限公司
一次性医用注射器	100ml, 塑料	江西洪达医疗器械集团有限公司
经耐高温改性的聚氨酯泡沫塑料	开孔, 比重 0.06, 孔密度约为 80PPI	上海正阳泡绵有限公司

所有实施例的共同点是：

在下述所有的实施例中，由盛有水的烧杯充当液体容器 1，由蠕动泵充当液泵 2，由填充了所述组合物的所述一次性医用注射器充当反应器 3，由盛有 90℃ 以上热水的烧杯充当加热器 4，由保温材料（经耐高温改性的聚氨酯泡沫塑料）切制成的厚度至少 10mm 的保温罩 5，如附图 1 所示。

采用塑料一次性医用注射器的外壳充当反应器外壳。不使用针头，将外壳与针头连接的接口充当进水口，并与蠕动泵的出水口连接。将其推杆拔出，取下推杆上的橡胶活塞，塞在原推杆插入口，充当出氢口密封塞。并在橡胶活塞中央开一小孔，充当出氢口以便引出氢气。

将组合物填充在上述反应器外壳中，尽可能贴近进水口，并裁剪合适尺寸的过滤材料（经耐高温改性的聚氨酯泡沫塑料）塞入该柔性材料圆筒并压紧、顶住组合物。

反应过程中，上述反应器垂直放置，进水口向上，出氢口向下。

除特别注明，蠕动泵的流量为 0.02g/min。

除特别注明，硅粉默认为通过 200 目的。

测量氢气产量的方法是排水容积法。环境温度为室温。

部分实施例，在反应开始的一小段时间，将反应器浸泡在加热器中；此后，从加热器中取出，用保温罩将其包裹，减少反应热的泄漏，保证较高的反应温度。

反应过程中，有一部分水吸收反应热后，气化成为水蒸气，随氢气流出。因此，加入水的流量与产氢的流量不成严格的计量比。

实施例 1

将 1.05g 硅粉 (约 3/80MOL)、2.1g CaO (约 3/80MOL)、0.5g NaAlO₂ 均匀混合后, 填充 10ml 注射器, 刻度显示组合物体积约 4.5cc。

开始的 15min 采用加热器, 此后移走加热器, 改用保温罩。

每 30min 记录一次产氢量, 依次为 130cc\ 160cc\ 210cc\ 220cc\ 210cc\ 210cc\ 180cc\ 130cc, 此时由于速度显著下降而停机。

累计产氢 1450cc, 理论计算反应充分度 86.3%。

实施例 2

将 1.05g 硅粉 (约 3/80MOL)、2.1g CaO (约 3/80MOL)、0.5g Na₂SiO₃ 均匀混合后, 填充 10ml 注射器, 刻度显示组合物体积约 4.0cc。

开始的 15min 采用加热器, 此后移走加热器, 改用保温罩。

每 30min 记录一次产氢量, 依次为 80cc\ 140cc\ 220cc\ 230cc\ 230cc\ 180cc\ 200cc\ 130cc, 此时由于速度显著下降而停机。

累计产氢 1410cc, 理论计算反应充分度 83.9%。

实施例 3

将 1.05g 硅粉 (约 3/80MOL)、2.1g CaO (约 3/80MOL)、0.5g Na₂CO₃ 均匀混合后, 填充 10ml 注射器, 刻度显示组合物体积约 4.0cc。

开始的 15min 采用加热器, 此后移走加热器, 改用保温罩。

每 30min 记录一次产氢量, 依次为 80cc\ 160cc\ 240cc\ 240cc\ 240cc\ 220cc\ 190cc\ 70cc, 此时由于速度显著下降而停机。

累计产氢 1440cc, 理论计算反应充分度 85.7%。

实施例 4

将 1.05g 硅粉 (约 3/80MOL)、2.05g NaAlO₂ (约 1/40MOL, 按照形成 Al₂(SiO₃)₃ 的计量比) 均匀混合后, 填充 10ml 注射器, 刻度显示组合物体积约 4.0cc。

开始的 15min 采用加热器, 此后移走加热器, 改用保温罩。

每 30min 记录一次产氢量，依次为 380cc\ 220cc\ 140cc，此时由于速度显著下降而停机。

累计产氢 740cc，理论计算反应充分度 44%。可见 NaAlO_2 虽然是优选的碱性物质，却并不是优选的沉淀剂。

实施例 5

将 10.5g 硅粉（约 3/8MOL）、21g CaO （约 3/8MOL）、5g NaAlO_2 均匀混合后，填充 100ml 注射器，刻度显示组合物体积约 45cc。

蠕动泵流量 0.18g/min。

开始的 5min 采用加热器，此后移走加热器，但是也不用保温罩。不用保温罩的原因是：反应器尺寸相对于前述几个实施例大一些，散热表面积相对于组合物反应体积的比例关系有所降低，所以外壳散热造成的不良影响会较小。

每 30min 记录一次产氢量，依次为 1.19L\ 1.58L\ 2.11L\ 2.14L\ 2.05L\ 1.92L\ 1.80L\ 1.54L\ 1.31L，此时由于速度显著下降而停机。

累计产氢 15.64L，理论计算反应充分度 93.1%。与例 1 相比，配方比例相同，装药量变为 10 倍，水流量变为 9 倍，反应充分度显著提高。

实施例 6

将 1.05g 硅粉、1.05g Ca(OH)_2 、碱性物质均匀混合后，填充 10ml 注射器，刻度显示组合物体积约 4.0cc。在 2 个子例中，碱性物质分别为 0.5g NaAlO_2 、0.5g Na_2CO_3 。

既不采用加热器，也不采用保温罩。

在两个子例中，蠕动泵运行 30min，均未观察到明显的产氢输出；关闭蠕动泵，静置 30min，均仍未观察到明显的产氢输出。

可见，在没有加热的情况下，反应不能启动。本发明提供的组合物，在储运不当意外遇水的情况下，不易反应产生可燃的氢气，因此具有较高的安全性。

值得补充说明的是，本例选择的沉淀剂是背景技术 201110076118.9 中主

要采用的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 。如果采用本发明其它实施例中采用的 CaO 作为沉淀剂，优点是由于摩尔质量较小，正常加热启动反应后保证反应充分完成所需的质量较小，但是由于 CaO 与水结合时会释放水合热而升高组合物的温度，仍有可能在常温下启动反应，因此储运安全性比采用 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的情况略低。

实施例 7

将 1.05g 硅粉（约 3/80MOL）、2.1g CaO （约 3/80MOL）、碱性物质均匀混合后，填充 10ml 注射器，刻度显示组合物体积约 3.7~4.0 cc。在 4 个子例中，碱性物质分别为，0.15g NaAlO_2 、0.15g Na_2SiO_3 、0.15g Na_2CO_3 、0.25g NaHCO_3 。

开始的 15min 采用加热器，此后移走加热器，改用保温罩。

每 30min 记录一次产氢量，速度显著下降时停机。

4 个子例的每 30min 产氢、累计产氢、反应充分度如下：

子例 1：90cc\ 210cc\ 230cc\ 210cc\ 180cc\ 120cc，1040cc，61.9%。

子例 2：80cc\ 160cc\ 220cc\ 190cc\ 160cc\ 100cc，910cc，54.2%。

子例 3：60cc\ 130cc\ 180cc\ 200cc\ 170cc\ 80cc，820cc，48.8%。

子例 4：70cc\ 130cc\ 210cc\ 230cc\ 220cc\ 190cc\ 60cc，1110cc，66.1%。

实施例 8

本例旨在探索沉淀剂用量的下限。

将 1.05g 硅粉（约 3/80MOL）、沉淀剂、0.5g NaAlO_2 均匀混合后，填充 10ml 注射器。在 3 个子例中，沉淀剂分别为 1.4g、0.7g、0.35g（约 3/160MOL、3/320MOL、3/640MOL） $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ，刻度显示组合物体积约 5.2cc、3.4cc、2.8cc。

开始的 15min 采用加热器，此后移走加热器，改用保温罩。

每 30min 记录一次产氢量，速度显著下降时停机。

3 个子例的每 30min 产氢、累计产氢、反应充分度如下：

子例 1：230cc\ 190cc\ 200cc\ 190cc\ 180cc\ 100cc，1090cc，64.9%。

子例 2：280cc\ 210cc\ 230cc\ 200cc\ 130cc，1050cc，62.5%。

子例 3：270cc\ 230cc\ 220cc\ 130cc，850cc，50.6%。

实施例 9

本例旨在探索沉淀剂、碱性物质用量的上限。

将 1.05g 硅粉(约 3/80MOL)、沉淀剂、碱性物质均匀混合后, 填充 10ml 注射器。在 3 个子例中, 配方、体积情况如下:

子例 1: 4.2g CaO(约 3/40MOL)\1.0g Na₂CO₃\5.5cc。

子例 2: 4.2g CaO(约 3/40MOL)\2.0g Na₂CO₃\6.4cc。

子例 3: 8.4g CaO(约 3/20MOL)\4.0g Na₂CO₃\11cc。

开始的 30min 采用加热器, 此后移走加热器, 改用保温罩。

每 30min 记录一次产氢量, 速度显著下降时停机。

3 个子例的每 30min 产氢、累计产氢、反应充分度如下:

子例 1: 50\100\130\150\170\190\200\190\180\160, 1520cc, 90.5%。

子例 2: 40\110\150\150\160\180\200\190\180\150, 1510cc, 89.9%。

子例 3: 50\90\90\90\100\90\100\90\90\80\80\80\80\80\70, 1260cc, 75%。

实施例 10

本例旨在探索碱性物质用量的下限。

将 1.05g 硅粉(约 3/80MOL)、1.2g CaO 及 1.2g Ca(OH)₂(共约 3/80MOL)、0.07g NaAlO₂ 均匀混合后, 填充 10ml 注射器, 刻度显示组合物体积约 5.0cc。

始终采用加热器, 不用保温罩。

每 30min 记录一次产氢量, 依次为 60cc\ 140cc\ 130cc\ 120cc \100cc\ 100cc\ 90cc\ 80cc, 此时由于速度显著下降而停机。

累计产氢 820cc, 理论计算反应充分度 48.8%。

实施例 11

将 1.05g 硅粉(约 3/80MOL)、1.5g MgO (约 3/80MOL)、0.5g NaAlO₂ 均匀混合后, 填充 10ml 注射器, 刻度显示组合物体积约 5.0cc。

始终采用加热器, 不用保温罩。

每 30min 记录一次产氢量, 依次为 100cc\ 140cc\ 160cc\ 140cc \140cc\ 150cc\ 150cc\ 130cc, 此时由于速度显著下降而停机。

累计产氢 1110cc，理论计算反应充分度 66.1%。

实施例 12

将 1.5g 硅铁合金粉（含硅约 3/80MOL）、2.8g Ca(OH)_2 （约 3/80MOL）、1.0g NaAlO_2 均匀混合后，填充 10ml 注射器，刻度显示组合物体积约 6.5cc。

开始的 30min 采用加热器，此后移走加热器，改用保温罩。

每 30min 记录一次产氢量，依次为 150cc\ 170cc\ 210cc\ 200cc\ 180cc\ 180cc\ 90cc，此时由于速度显著下降而停机。

累计产氢 1180cc，理论计算反应充分度 70.2%。

实施例 13

将 1.05g 硅粉（约 3/80MOL）、2.2g FeO(OH) （约 1/40MOL）、0.5g NaAlO_2 均匀混合后，填充 10ml 注射器，刻度显示组合物体积约 3.7cc。

始终采用加热器，不用保温罩。

每 30min 记录一次产氢量，依次为 270cc\ 200cc\ 190cc\ 150cc\ 90cc，此时由于速度显著下降而停机。

累计产氢 900cc，理论计算反应充分度 53.6%。

实施例 14

本例旨在探索硅粉平均粒径的上限。

将 1.05g 硅粉、2.8g Ca(OH)_2 、1.0g 碱性物质均匀混合后，填充 10ml 注射器。在 2 个子例中，硅粉平均粒径、碱性物质、组合物体积分别为：

子例 1：0.3mm， Na_2CO_3 ，6cc。

子例 2：1.0mm， Na_4SiO_4 ，5.5cc。

始终采用加热器，不用保温罩。

蠕动泵流量 0.01g/min。

每 60min 记录一次产氢量，速度显著下降时停机。

2 个子例的每 60min 产氢、累计产氢、反应充分度如下：

子例 1：140\ 190\ 190\ 190\ 180\ 150\ 80，1120cc，66.7%。

子例 2：290\ 190\ 160\ 140\ 110，890cc，53%。

实施例 15

将 1.05g 硅粉、1.2g CaO 及 1.2g Ca(OH)₂、1.0g K₂CO₃ 均匀混合后，填充 10ml 注射器，刻度显示组合物体积约 5.0cc。

开始的 30min 采用加热器，此后移走加热器，改用保温罩。

每 30min 记录一次产氢量，依次为 150cc\ 260cc\ 270cc\ 240cc\ 200cc\ 160cc，此时由于速度显著下降而停机。

累计产氢 1280cc，理论计算反应充分度 76.2%。

对比实施例 1

将 1.4g 硅粉、2.8gCaO、1.0gNaOH 均匀混合，填充反应器，堆积体积约 6cc。

不采用加热器或保温罩。

蠕动泵流量 0.01g/min。

开始时几乎没有反应，5min 后开始产氢并且速度迅速上升，再经过 1min 达到猛烈反应，将部分组合物推向下方导致堆积结构变形；虽然及时关闭蠕动泵，仍继续反应了一段时间，产氢量 150cc。

反应器塑料外壳有轻微的融化变形。

可见，采用碱金属氢氧化物充当碱性物质，不适合本发明提供的封闭紧凑、廉价外壳材料的反应器。

对比实施例 2

本例测试了不添加本发明所述的碱性物质的情况。

将 1.05g 硅粉(约 3/80MOL)、1.2g CaO 及 1.2g Ca(OH)₂(共约 3/80MOL) 均匀混合后，填充 10ml 注射器，刻度显示组合物体积约 4.7cc。

始终采用加热器，不用保温罩。

每 30min 记录一次产氢量，依次为 10cc\ 30cc\ 30cc，由于无法达到实用的产氢量而停机。

对比实施例 3

本例旨在探索碱性物质用量过少的情况。

将 1.05g 硅粉(约 3/80MOL)、1.2g CaO 及 1.2g Ca(OH)₂(共约 3/80MOL)、0.04g NaAlO₂ 均匀混合后, 填充 10ml 注射器, 刻度显示组合物体积约 4.7cc。

始终采用加热器, 不用保温罩。

蠕动泵流量 0.01g/min。

每 30min 记录一次产氢量, 依次为 10cc\ 60cc\ 60cc\ 50cc \40cc\ 30cc, 此时由于速度显著下降而停机。

显然, 产氢量很低。

本领域技术人员熟知的简单变换, 均在本发明的保护范围之内。

权利要求

1、一种用于产生氢气的硅粉体组合物，其特征在于：其包含硅粉、沉淀剂以及碱性物质，其中，所述的碱性物质是碱金属的弱酸盐；所述碱性物质与硅粉中的硅的质量比，大于等于 0.06:1，小于等于 4:1；所述的硅粉为平均粒径小于等于 1mm 的硅粉；所述的沉淀剂与硅粉中的硅的摩尔计量比大于等于 0.12:1，小于等于 4:1。

2、如权利要求 1 所述的硅粉体组合物，其特征在于：其中，所述的碱性物质与硅粉中的硅的质量比为大于等于 0.25:1，小于等于 1:1。

3、如权利要求 1 所述的硅粉体组合物，其特征在于：所述“碱金属的弱酸盐”中的碱金属为 Na 和/或 K。

4、如权利要求 1 所述的硅粉体组合物，其特征在于：所述的“碱金属的弱酸盐”中的弱酸在常温 25°C 时的 pKa 为大于 9.50，小于 13.00，如果弱酸有多个 pKa，以数值最大的 pKa 为准进行判断。

5、如权利要求 1 或 4 所述的硅粉体组合物，其特征在于：所述弱酸为偏铝酸、偏硅酸和碳酸中的一种或多种。

6、如权利要求 1 所述的硅粉体组合物，其特征在于：所述的碱金属的弱酸盐的酸根与所述沉淀剂中的金属元素所形成的盐，在水中的溶解度小于 1 克/100 克。

7、如权利要求 1 所述的硅粉体组合物，其特征在于：所述的沉淀剂为金属氧化物与金属氢氧化物的至少一种；所述沉淀剂中的金属元素为 Ca。

8、如权利要求 1 所述的硅粉体组合物，其特征在于：所述的硅粉中硅的纯度下限为 50%；和/或，所述的硅粉为平均粒径小于等于 0.3mm 的硅粉。

9、一种制备氢气的方法，其特征在于包含下列步骤：在反应温度为 40°C~160°C 下，将权利要求 1~8 任一项所述的硅粉体组合物和水进行反应，即可。

10、如权利要求 9 所述的方法，其特征在于：所述的反应温度为

80°C~120°C。

11、如权利要求 9 或 10 所述的方法，其特征在于：所述的反应的压力（表压）为 1~9Bar。

12、一种反应器，其特征在于：所述反应器中含权利要求 1~8 任一项所述的组合物；所述反应器上设有进水接口和出氢接口。

13、如权利要求 12 所述的反应器，其特征在于：所述反应器中的进水接口与出氢接口不在一个平面上；和/或，所述反应器为圆柱形。

14、一种用于制备氢气的反应装置，其特征在于：其包含权利要求 12 或 13 所述的反应器，以及液体容器，所述液体容器与反应器直接或间接连接，所述的连接为固定或可拆卸连接。

15、如权利要求 14 所述的反应装置，其特征在于：所述的反应装置，还包含加热器；和/或，所述反应装置，还包含包裹所述反应器的保温罩。