聚合物电解质膜燃料电池创新与专利报告

为燃料电池社区提供基于机器学习支持的研发决策

自 2017 年以来，b-science.net 为锂离子电池社区提供了一项受欢迎的信息服务，在经过验证的机器学习 (ML) 方法的帮助下改进研发决策。 我们也想为燃料电池社区提供这项服务。

我们的 ML 方法允许识别具有高度商业相关性的专利申请，它绘制了各种参与者采用的关键技术决策（创新决策树）和工艺流程。我们还为新颖和未充分探索的研发方法提供灵感。

我们的服务促进了新产品的成功推出，目前受到美国、亚洲和欧洲的工业电池研发/产品管理团队、学术研究社区和风险投资人的信赖。

与有燃料电池、催化剂和 电力多元化转换(Power-to-X)背景的英国咨询公司 Enabled Future Limited 合作，本报告将涵盖以下类别：

- **质子交换膜和阴离子交换膜燃料电池 (PEMFC / AEMFC) – 电化学活性材料**

这些类别的快速创新对于增加绿色氢的生产和使用至关重要，以便及时有效地应对气候变化。

订阅信息

可在 b-science.net 官网寻求订阅报价或联系：

李杰先生 通过 travis@achatestrade.com
Pirmin Ulmann 博士 通过 pirmin@b-science.net

内容制作将在达到足够的订阅预售后开始。前 3 位订阅者将获得 8 小时的作者支持，而不是 2 小时，并将根据反馈的意见，有机会在深潜章节部分增加相应的内容。

© b-science.net LLC

范围、方法论和可视化技术

范围

报告将涵盖基于PEM的燃料电池技术。此外，阴离子 AEM 将作为次要主题进行介绍。要涵盖的关键领域将是：

- 膜电解质，包括主链聚合物技术、催化剂类型和涂层方法
- 气体扩散电极 (GDE)，包括气体扩散层 (GDL)、疏水层和催化剂
- 双极板技术

本报告的结构将基于以下章节和内容：

- **执行摘要：**报告中每一章的要点和结论的摘要。
- **简介：**概述了燃料电池和电解槽的市场需求和技术环境，以及行业在大规模转向具有成本效益的商业技术方面面临的挑战，并在此基础上提出了一个技术采用框架。
- **PEM 和 AEM 技术的创新决策树：**一组八棵决策树，为开发人员列出了一定数量的创新专利申请。涵盖的主题将包括催化剂技术、聚合物开发
- **PEM 和 AEM 技术的主要开发商：**对 ≥35 家在催化剂涂层膜、气体扩散层和电极、聚合物电解质开发、双极板设计和堆栈/模块配置领域的公司进行技术和专利评论。
- **深入研究 PEM 和 AEM 技术：**根据订阅者的意见，将进一步探索关键挑战，为与 KPI 相关的新颖发明提供概念和可操作的灵感。
- **战略摘要：**本章汇集了报告中不同分析的结果，并根据行业在实现其技术目标方面取得的进展来看待这些结果。将确定和讨论创新领域的主要优势和差距，以期激励科学家并为他们未来项目的潜在富有成效的创新领域提供指南。

完整的拟议目录 (TOC) 附在本报告中。

这次报告和相关内容的专利信息来源是欧洲专利局（EPO），它涵盖了来自世界各地的100多个专利局的的专利申请。b-science.net 数据库包含可追溯到 1980 年的与燃料电池和电解槽相关的专利，但将重点关注自 2020 年以来发布的同族专利（同族专利中的最早文件），以反映最新的技术状态。

基于机器学习的商业相关专利识别方法

b-science.net 开发了一种经过验证的的机器学习 (ML) 方法来评估专利的商业相关性，并结合自动翻译框架来确保也识别非英语专利。自 2017 年以来，该方法在多个锂离子电池材料和电池类别中不断改进。我们将专注于商业/私营公司的同族专利。

将生成与表 1 类似的两个与燃料电池和电解槽相关的表格。

表 1： 2019年至2022年期间在类别中新发布的与商业相关的专利家族数量：质子交换膜燃料电池、固态氧化物燃料电池、磷酸燃料电池、阴离子交换膜燃料电池 - 电化学活性材料

公司	国家	2019	2020	2021	2022	总计
丰田	日本	381	355	321	300	**1'357**

拥有2 个以上同族专利的公司将被列入报告的名单里。
将提供一个 Excel 文件，其中包含所有已识别的专利，并根据商业相关性进行排名。

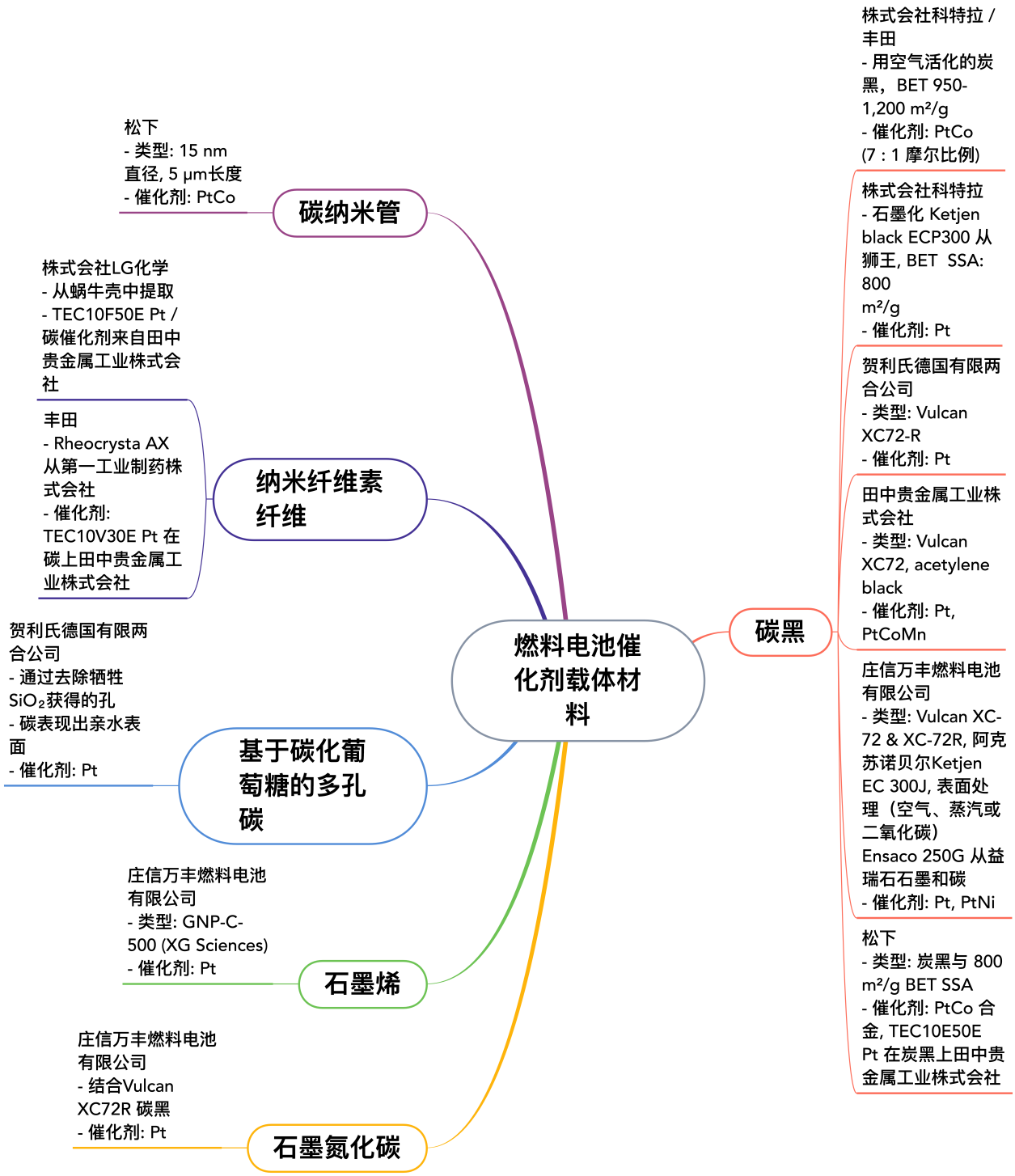
创新决策树

创新决策树描绘了不同的商业参与者如何针对在市场上推出技术新颖的产品做出不同的决策，这通常构成关键的创业（不可保险的）风险，将决定公司 2-10 年后的竞争地位。在图 1 中，一个决策树的例子来自 b-science.net '高能正极创新与专利报告'。预计的燃料电池和电解槽创新决策树：

- 聚合物电解质膜燃料电池（PEMFC）催化剂开发
- PEM 电解槽 (PEMEL) 催化剂开发
- PEM 双极板组成和结构
- PEM 膜结构开发
- PEM 气体扩散层 (GDL) 开发
- PEM 堆栈和模块配置开发
- 阴离子交换膜（AEM）催化剂开发
- AEM聚合物架构开发

对最先进技术和相应决策树的理解允许识别尚未探索的有前途的未来研发方向，以及与现有参与者的差异化。

图 1：燃料电池催化剂支撑材料（暂定版本）



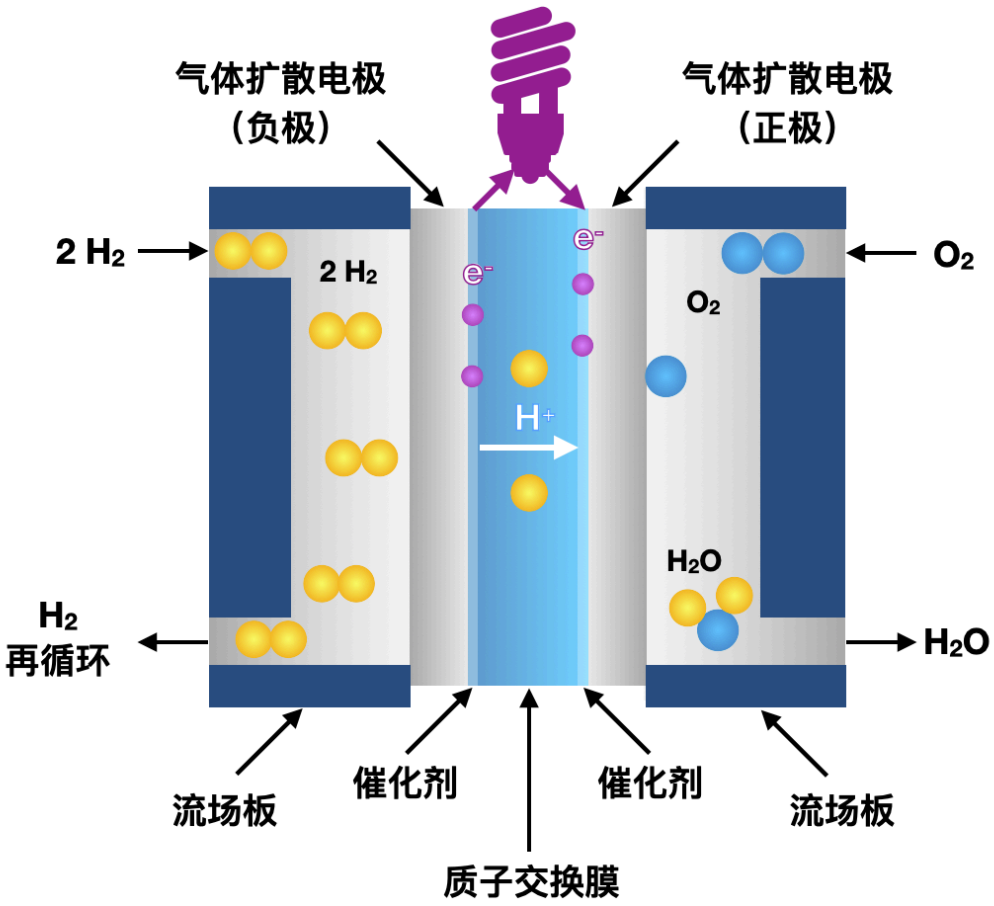
流程图

以下 贺利氏 章节摘录中显示了基于对与膜燃料电池和电解槽相关的专利组合进行分析而生成的流程图示例。

技术概览

燃料电池均由阴极、阳极和隔膜/电解质层组成。但每种类型的燃料电池看起来都不一样。如果隔板/电解质层由质子交换膜（PEM，图 2）组成，则电极催化剂将涂覆在由聚合材料制成的全氟磺酸 (PFSA)的固体膜电解质的两侧。行业现有技术使用杜邦（现为科慕）的商用 Nafion PFSA 膜。沉积催化剂的常规大规模生产方法包括喷涂、丝网印刷、刮刀涂布、缝模和微凹版涂布。

图 2：PEM 燃料电池气体扩散电极



电解槽比燃料电池具有更广泛的市场范围，因为绿色氢也将用于生产化学品和燃料的原料。近期的关键产品将是通过水电解生产的绿色氢气。本报告的范围侧重于氢。CO2 电解和共电解等主要由固体氧化物电解槽 (SOEC) 提供服务的技术，虽然可能出现在 ML 模型和在线 b-science.net 专利数据库中，但在很大程度上并未涵盖。

关键绩效目标

燃料电池和电解槽的研发目标由为燃料电池和电解槽设定的关键性能指标 (KPI) 目标确定，例如由美国能源部 (US DOE) 和位于阿联酋阿布扎比的国际可再生能源机构 (IRENA)制定。典型参数与电

池的成本、效率、寿命以及操作参数有关——例如压力、斜坡时间、电流密度、面积和关键原材料 (CRM) 的使用。KPI 目标设置在价值链的不同层次，既单独针对催化剂、GDL，也针对整个电堆和最终应用，例如燃料电池汽车、火车、公共汽车等。专利中的创新描述对达到 KPI 目标的能力是有帮助的，例如 GDL 厚度、贵金属负载量、效率、电流密度等。 这种趋势将特别用作深潜部分分析的一部分，例如“迎接吉瓦规模的挑战”。

借助我们的报告，可以将内部产品开发进度与竞争对手进行比较。

主要市场参与者

主要市场参与者概述

关于主要的市场参与者会结合早期订户的反馈，最终选择 ≥35 家公司。 对于每家公司，都会对其主要专利文献进行评论，并重点介绍其未来聚合物膜燃料电池的可能组成。将概述每家公司的独特能力和潜在障碍。

示例 - 节选-贺利氏 - 德国

组织简介

贺利氏 (https://www.heraeus.com, 催化剂产品页面 – 燃料电池、电解槽）总部位于德国哈瑙，为能源、电子、环境、健康、交通和工业领域提供贵金属和特种金属产品。它为 PEM 电极提供催化剂粉末。

创新简介

贺利氏在 2019 年至 2023 年 7 月 27 日期间发布了 5 项新的同族专利。

这些专利系列与 贺利氏 PEM 燃料电池和电解槽催化剂产品组合基本一致，可满足催化活性、稳定性和电池反转耐受性方面的各种要求。

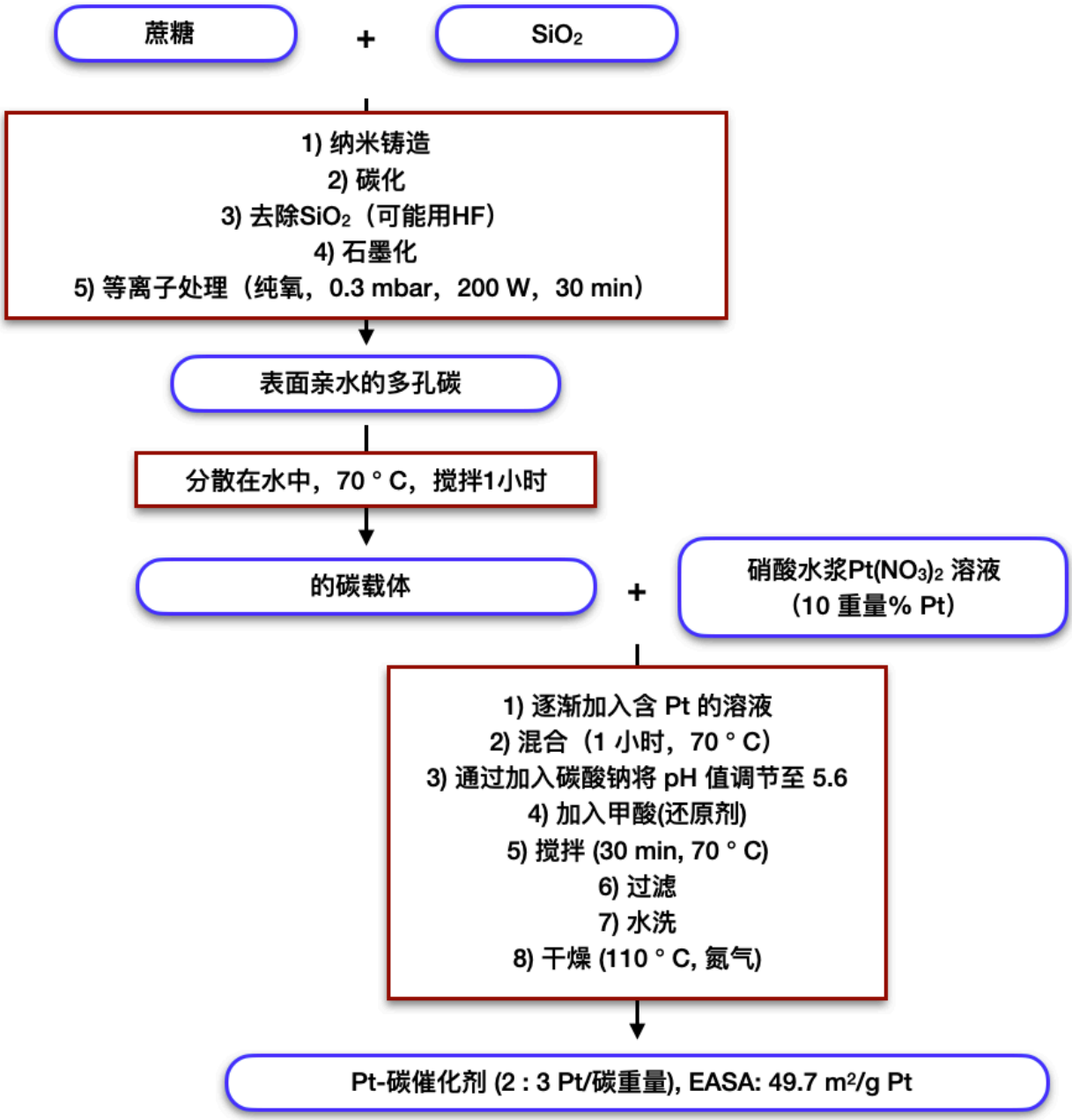
提高催化剂活性的关键发明：

- 使用具有受控 BET 表面积和孔径分布的碳或二氧化钛载体材料。
- 对内部生产或外部采购的碳载体材料（Vulkan 炭黑）进行氧等离子体处理。碳载体在水中的有利分散对于在其表面上实现均匀的催化剂分布可能是关键的。
- 在催化剂前体沉积和还原过程中仔细调整 pH 值和其他工艺条件。

- 在将催化剂沉积在载体材料上和将负载型催化剂沉积在聚合物膜上之后，仔细优化热处理。

图 3 说明了 贺利氏IP 涵盖大量垂直整合，包括碳催化剂载体的制备、金属前体和催化剂涂层膜 (CCM) 的制备。

图 3：贺利氏 的预计制造工艺（可能用于 PEMFC 催化剂 catalyst H2-FC-30Pt-C60T）



贺利氏 声称在减少 PEM 电解 (PEMEL) 电极所需催化剂的铱含量方面取得了相当大的进展。看来相应的专利申请尚未公布。

独特的能力：将研发资源明确集中在催化剂上，同时控制可能影响性能和成本的所有工艺步骤。

潜在障碍：未确定。

未来催化剂产品的可能组成

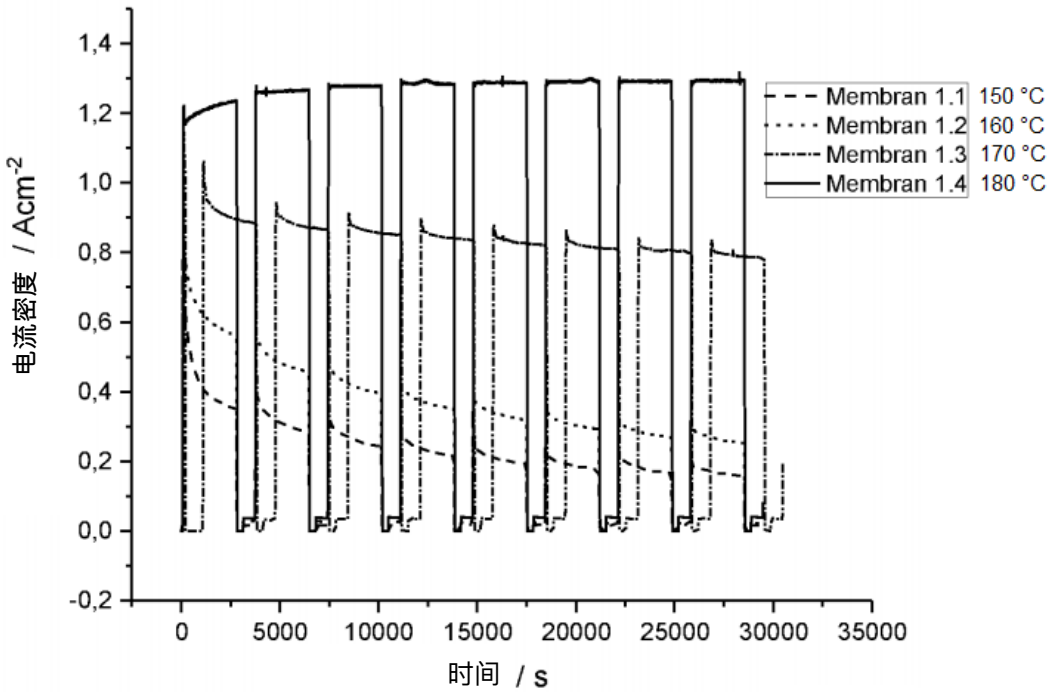
- FC：等离子处理的多孔碳（内部生产，图 4）或等离子处理的炭黑（例如 卡博特的 Vulcan XC72-R）上的 Pt。
- EL：TiO_2 上的 Ir-Ru 或定制的多孔碳（内部生产）。

专利组合示例

A) PEM 催化剂

- 制备催化剂涂层膜的方法：基于四氟乙烯离聚物和含有磺酸基团的全氟乙烯基醚（MX820.15，戈尔，4.05 重量%）以及沉积在碳载体上的催化剂（7.19 重量%）。CCM 在不同温度下进行热处理（参见下面的图 4）。
  热处理可显著提高潮湿操作条件下的性能，并使性能稳定，无需在几个循环后才体现，而是很早就开始见效。因此可以省略用于活化膜的,所谓 “预调节”或“磨合”步骤。

图 4：CCM 在 150-180 ° C 下热处理 4 分钟后的电化学性能。Membran: 膜



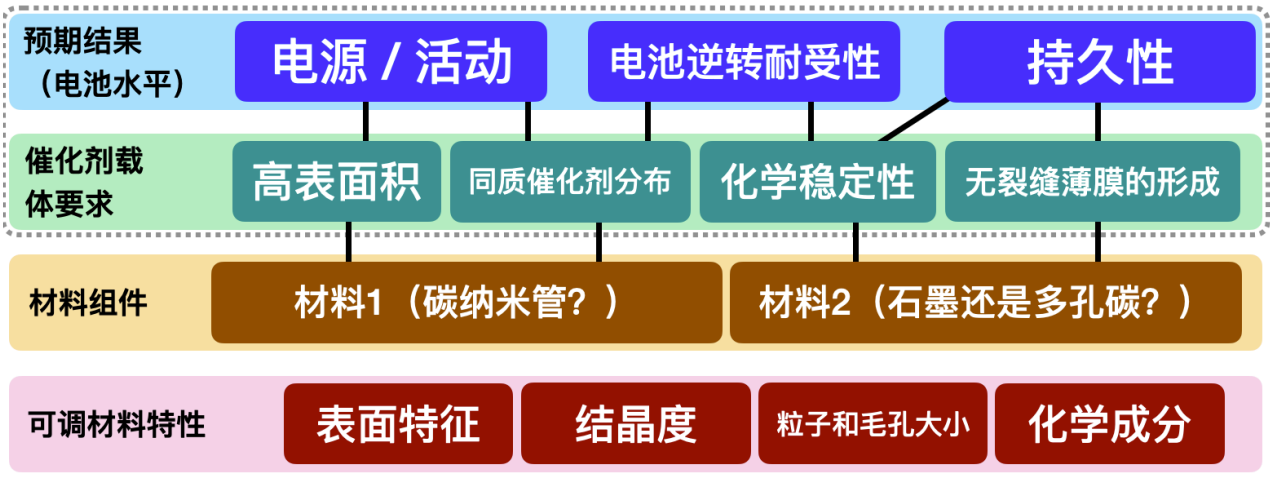
- 电化学电池的高稳定性催化剂: 石墨化多孔碳材料是通过用蔗糖浸渍多孔 SiO_2 模板进行纳米浇铸（图 4），然后碳化，去除SiO_2 和石墨化碳化材料而制成的。用等离子体（纯氧，0.3 毫巴，200 W，30 分钟）处理该材料。将所得材料悬浮在70 ° C的水中。1小时后，逐渐加入硝酸硝酸铂溶液（10重量% Pt）（2:3 Pt/碳载体重量）并进一步混合1小时。然后通过加入碳酸钠将 pH 值调节至 5.6，然后加入甲酸作为还原剂。30分钟后，滤出Pt-碳催化剂，用水洗涤并干燥（110 ° C，氮气）。这种材料的电化学活性表面积 (EASA) 为 49.7 m^2/g Pt。
  这项工作说明了碳载体材料的等离子体处理如何导致 EASA 的显着增加，从而实现电流密度和寿命之间的良好平衡。该 EASA 值和产品特性与 贺利氏 PEM FC 催化剂 H2-FC-30Pt-C60T一致。
- 制备负载型铂颗粒的方法: 与先前专利的程序类似，将 Pt 沉积在导电炭黑（卡博特的Vulcan XC72-R，BET 比表面积：250 m^2/g）上，在 70 °C 的水中使用 H_2PtCl_6，然后添加钠碳酸盐，调节pH值至5.1并用甲酸还原。这种材料的 EASA 为 65 m^2/g Pt。
  这项工作说明了如何通过使用导电炭黑载体材料进一步提高 EASA。与先前专利中的碳载体（约 240 平方米/克与约 60 平方米/克）相比，BET比表面积增加能否耐受，取决于稳定性和电池逆转耐受性要求。这EASA和产品特性与贺利氏PEM FC催化剂H2-FC-40Pt-C240是一致的。

深潜

深潜章节通过将专利文献中关于如何解决特定技术问题的多种见解联系起来，为新发明提供灵感。下面是'固态锂离子电池创新与专利报告' 的一个例子（图 5，领先的锂离子电池开发商 CATL 的专利申请可以在该图中确定，发布日期：2020-12-22）。

图 5：新发明的灵感示例-碳纳米管涂层石墨作为潜在的催化剂载体材料

将根据订阅者的反馈制作深潜章节，例如：



- PEMFC/PEMEL 催化剂涂层膜 (CCM) 的成本降低方法
- 新型气体扩散电极 (GDE) 的开发
- 通往更高电流密度的途径
- 开发用于阴离子交换膜 (AEM) 的改进聚合物
- 迎接千兆瓦级挑战

三周专利列表

我们的内容以年度订阅的形式提供，其中包括创新及专利报告以及每三周更新一次的专利列表，讨论 3 项关键燃料电池和电解槽专利（请参见下面的示例）。此外，还有一个 Excel 列表。三周专利列表中包含 30-80 个最近公布的同族专利（点击此链接可获得示例）。

版本：2023-07-18

方法

申请人: 庄信万丰氢能科技有限公司 / WO 2023105228 A1

开发了一种准同时在催化剂层上沉积两个含离子体层的方法（沉积步骤之间延迟30秒）。

第一个“湿化溶液”（25%质量比的离子体，在1：9乙醇/水中，按质量）涂在催化剂层上（支撑在后来被去除的背衬层上），然后用气刀（部分干燥）处理，而不是较慢的干燥步骤。由此产生的层表面张力为<24 mN/m。

第二个密度较低的“分散层”被涂在湿润的催化剂层（质量比为17%的离子体，4：1乙醇水），然后干燥（80°C）。

控制实验说明了如何避免堆叠层之间的混合，因为溶剂密度不同。

这项工作很重要，因为它减少了生产催化剂涂层离子导电膜所需的生产时间和干燥阶段的数量，同时允许特定的界面定制（这反过来又允许优化性能）。

烧结体和使用烧结体的燃料电池

申请人: 日产化学/ WO 2023106391 A1

通过声化三聚氰胺（约2.3%质量比）和含石墨烯氧化物（1%质量比）水分散（5分钟）制备燃烧体，然后添加异丙醇，然后对沉淀物进行热处理（400 °C，2小时，34%质量产率）。通过将产生

的粉末与Pt/碳催化剂（TEC10E50E，田中贵金属）、Nafion分散体（DE520 CS，Wako）和2-丙醇混合，然后进行超声波处理，制备电极催化剂墨水。

由此产生的墨水涂在特氟龙板上，并切成块（1×1厘米）。

CCM（催化剂涂层膜）通过热压缩（132°C，0.6 kN，120秒）与MPL（微孔层，28BC，西格里、Nafion 211膜（25微米厚度，杜邦）和催化剂涂层特氟龙片的气体扩散层组装而成。

与基于未经过烘烤的三聚氰胺/石墨烯氧化物的比较示例相比，发电测试表现出以下电压：

0.2 A/cm²：0.78 vs.0.68
0.6 A/cm²：0.68 vs. 0.45
1.0 A/cm²：0.58 vs. 0.24

这项工作通过使用烧结的石墨烯氧化物/三聚氰胺催化剂层，增强水输送、燃料氧扩散和质子导率，提高了PEMFC的电压和电流密度。

燃料电池催化剂层和燃料电池
申请人: 松下 / JP 2023080432 A

本专利申请提出了双层PEMFC阴极催化剂层设计，可以增强水管理和电导率，从而改善功率输出（见图）。

催化剂层11a和11b由两种具有不同颗粒大小和成分的导电材料组成，第一个催化剂层具有较大的颗粒10a和介孔结构（平均孔径约20纳米，平均粒径约600纳米）。

第二层催化剂包括导电炭黑，颗粒直径较小（10b，不到颗粒直径10a的22%）。

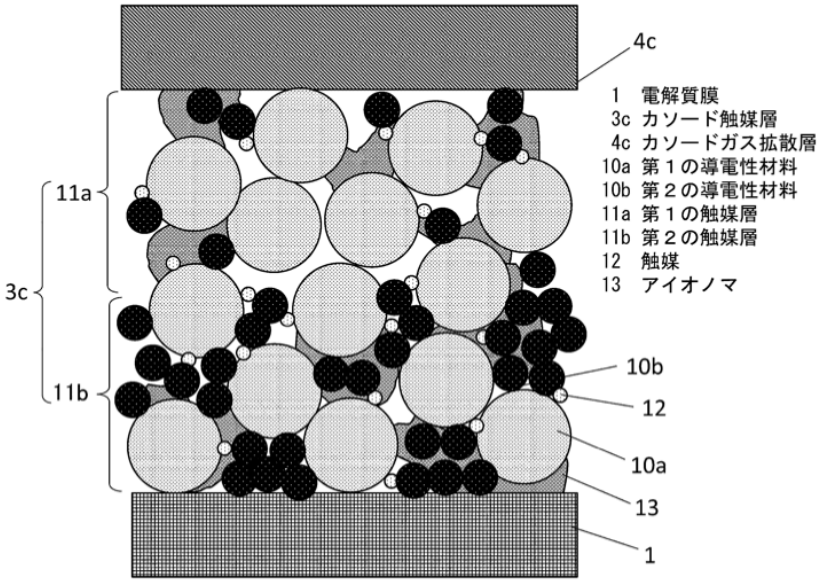
这种安排促进了高效的排水、高接触面积和减少活动抑制。

1：电解质膜
3c：阴极催化剂层
4c：阴极气体扩散层
10a：第一种导电材料
10b：第二种导电材料
11a：第一催化剂层

11b：第二催化剂层

12：催化剂

13：离子体



这项工作很重要，因为它允许燃料电池中的一些重要问题（如水浸），可以通过相对简单的改变得到改善——具有不同孔隙结构和颗粒大小的催化剂材料的多功能性足改善燃料电池的特性。

三周专利报告: **XLSX**

关于作者

Michelle Lynch博士

Michelle Lynch 是化学和催化学博士，也是英国皇家化学学会 (FRSC) 的会员。她 24 年的博士后经验涵盖催化剂研发、催化剂和贵金属市场研究、专利分析和咨询。她目前是 Enabled Future Limited (EFL) 的董事和所有者。在成立 EFL 之前，Michelle 曾与 IHS Markit、莱晟特和庄信万丰合作。她经常在会议上发表演讲，并为行业杂志撰稿。迄今为止，她的论文发表于 IHS Chemical Bulletin、IHS Quarterly、The Catalyst Review、Recycling & Waste World 和 Catalyst Group Intelligence Report。她在英国西米德兰兹 (West Midlands) 生活和经营她的咨询公司。她热衷于可持续性、减少污染和帮助创建高影响力的解决方案来应对气候变化。

Enabled Future Limited (EFL) 帮助其客户加速循环碳途径的盈利部署，以支持气候适应和未来的零碳制造。它通过根据市场趋势和环境目标优化技术组合来实现这一目标。该公司通过不同的垂直市场组织了多个活动领域：

- EnabledCatalysts，涵盖催化剂的生产、使用和回收
- EnabledCircular，涵盖旨在实现聚合物和塑料产品循环的项目
- EnabledMetals，涵盖铂族金属（PGM）、电池金属、稀土元素（REE）和其他工业有价值金属的生产、使用和回收
- EnabledPower，包括燃料电池、电解槽、电池、可持续储能化学品和可再生能源系统的生产、使用和回收项目

Pirmin Ulmann博士

Pirmin Ulmann 于 2004 年获得苏黎世联邦理工学院（瑞士）的化学硕士学位，并于 2009 年获得西北大学（美国）的博士学位。此后，他在东京大学的 ERATO 学术-工业有机太阳能电池项目中担任JSPS（日本学术振兴会）外国研究员（日本）。2010 年至 2016 年，在瑞士益瑞石石墨和碳工作期间，他是与锂离子电池相关的 7 个专利家族的共同发明人，并参与了燃料电池 GDL 的合作。他还负责与Paul Scherrer Institut (PSI，瑞士保罗谢勒研究所)的合作，评估企业战略的外部技术，并对东亚、北美和欧洲的电池和燃料电池组件制造商进行客户访问。他拥有斯坦福认证项目经理(SCPM) 证书，他参与撰写及与他人合著的科学论文有1，700条以上的引文。

b-science.net LLC 作为一个分布式团队在瑞士运营，在美国、亚洲和欧洲的关键技术集群中拥有垂直锂离子电池技术的高级订户。公司以其独特的基于机器学习的方法促进技术决策。订阅者可以以高效的方式深入了解全球最新技术，并在成功推出产品方面领先一步。逐渐地，从燃料电池和电解槽开始，正在追求进一步的储能垂直领域。

拟议目录

执行摘要
介绍
- 本次报告的重点
- 审查方法
- 燃料电池和电解槽组件和当前的技术挑战
- 技术采用框架
- 预测

创新决策树 (包括讨论及反馈后新增的)

- 聚合物电解质膜燃料电池 (PEMFC) 催化剂开发
- PEM 双极板组成和构造
- PEM 膜结构开发
- PEM 气体扩散层 (GDL) 开发
- PEM 堆栈和模块配置开发
- 阴离子交换膜 (AEM) 催化剂开发
- AEM聚合物架构开发

关键燃料电池开发商（按字母顺序）

- 3M - 美国
- 旭化成株式会社 - 日本
- 巴拉德 / 山东东岳未来氢能材料股份有限公司 - 加拿大 / 中国
- 巴斯夫 / NE Chemcat - 德国 / 日本
- Bloom Energy - 美国
- 博世 - 德国
- 科慕（原杜邦） - 美国
- 博世 - 德国
- 戴姆勒 / NuCellSys - 德国
- 斗山 - 韩国
- 一汽 - 中国
- 通用汽车 - 美国
- Giner Labs - 美国
- 戈尔 - 美国
- 贺利氏 - 德国
- Hydrogenics - 加拿大
- HydroLite - 以色列
- 现代 / 起亚 / Pajarito Powder - 韩国 / 美国
- Hyzon Motors - 美国
- 上海济平新能源科技有限公司 - 中国
- 庄信万丰 - 英国
- 可隆 - 韩国
- LG 化学 / LG新能源 - 韩国
- 松下 - 日本

- Plug Power - 美国
- 中自环保科技股份 - 中国
- 鸿基创能科技 - 中国
- 田中贵金属工业株式会社 - 日本
- Terralix - 韩国
- 凸版印刷 - 日本
- 东丽 - 日本
- 丰田 / Cataler - 日本
- 优美科 - 比利时
- Vinatech - 韩国
- 大众 / 奥迪 - 德国
- 潍柴 - 中国
- 武汉理工氢电科技有限公司 - 中国

深潜

- PEMFC 催化剂涂层膜 (CCM) 的成本降低方法
- 新型气体扩散电极 (GDE) 的开发
- 通往更高电流密度的途径
- 开发用于阴离子交换膜 (AEM) 的改进聚合物
- 迎接千兆瓦级挑战

免责声明

我们致力于倾听和储能社会提供高品质的服务，但我们不能保证我们的服务都是准确无误的。b-science.net LLC 及其附属公司不承担所有的保证和责任。请查看我们的条款和条件和隐私政策，适用于本文档。

此服务可能包含由 GOOGLE 提供支持的翻译。GOOGLE 对本翻译不提供任何明示或暗示的保证，包括对准确性或可靠性的任何保证，以及对适销性，针对特定用途的适用性和无侵权性的任何暗示保证。