

附件 6



中国科学院大学

University of Chinese Academy of Sciences

博士学位论文评阅书

论文题目 单离子导体聚合物电解质固态锂电池的研究

作者姓名 高静

学位类别 工学博士

学科（专业） 化学工程

研究所（院系） 大连化学物理研究所

中国科学院大学制

学术道德评价

(一票否决)

| 评价要素 | 评价意见 (请在相应栏内划“√”) |
|------------------------------|--|
| 是否存在剽窃他人成果、伪造数据、由他人代写等严重作假行为 | <input type="checkbox"/> 是 (具体说明存在的问题) |
| | <input checked="" type="checkbox"/> 否 |

评阅意见

| 评 价 要 素 | | | 权重 | 具体得分 (百分制) |
|---------|-----------|--|-----|---------------|
| 1 | 论文选题 | 选题的理论意义、实用价值 | 10% | 85 |
| 2 | 文献综述 | 反映该学科及相关领域的前人成果和前沿动态 | 15% | 90 |
| 3 | 创新成果 | 论文成果创新性, 对学科发展、技术进步、经济建设、国家安全等方面产生的影响和贡献 | 40% | 85 |
| 4 | 基础理论和专门知识 | 基础理论的宽厚度、坚实度, 专门知识的系统性、深入性 | 10% | 80 |
| 5 | 科研能力 | 论文体现科研潜质与独立科研能力 | 15% | 75 |
| 6 | 论文写作 | 论文结构、撰写规范性; 文字表达准确、清晰和流畅性; 引文严谨、规范性 | 10% | 75 |
| 总体评价 | | | 总分 | 83 |

注: “分数”栏每项均按百分制整数评分, 各项满分均为 100 分。评分分为四档: 大于等于 90 分为优秀; 大于等于 75 分小于 89 分为良好; 大于等于 60 分小于 74 分为一般; 小于 60 分为差。

对学位论文的学术评语：(请对论文的学术水平、创新性做出简要评述，包括选题意义，文献资料的掌握，论文创新之处，写作规范和逻辑性等。还须明确指出论文中存在的问题和不足之处，可另附页)

论文题目：单离子导体聚合物电解质固态锂电池的研究

作者姓名：高静

锂离子电池因其能量密度高、能量转化密度高而被广泛应用在电子设备、电动车等领域。由于应用到可燃性有机溶剂，且能量密度难以进一步提升，锂离子电池的发展遇到阻力。固态锂电池因能兼顾高能量密度和高安全性而备受关注。但是，目前固态锂电池仍面临室温离子电导率低、电极/电解质界面电阻高等问题。与传统的双离子导体聚合物不同，单离子导体聚合物电解质中只允许锂离子迁移，具有抑制锂枝晶生长、易大面积制备、界面阻抗小等优点。该论文将质子型 Nafion 膜锂化得到 Li-Nafion 单离子导体聚合物膜，研究其在固态锂硫电池中的应用。另外，将其与 LLZAO 复合得到的 Li-Nafion-10 wt% LLZAO 复合固态电解质膜具备优异的电化学性能。以 PVDF-HFP-LiTFSI-SN 聚合物电解质和 Li-Nafion-10 wt% LLZAO 复合膜为双层电解质层构建的 NCA 固态锂电池具有优异的电化学性能。

论文研究目标明确、工作新颖、文笔流畅，充分体现作者具有广泛的基础知识和扎实的专业知识，并具有良好的独立从事科学研究的素质和能力，论文已经达到工学博士的学位论文水平。论文工作量如果能增加一些更好，并且如果能结合实验结果从理论方面进行一些分析，论文的水平会更高。另外，建议在展望部分给出较为具体的建设性方案。

是否同意组织学位论文答辩

(请在相应栏内划“√”)

☒ 同意答辩

☐ 修改后答辩

☐ 不同意答辩

学术道德评价

(一票否决)

| 评价要素 | 评价意见 (请在相应栏内划“√”) |
|------------------------------|--|
| 是否存在剽窃他人成果、伪造数据、由他人代写等严重作假行为 | <input type="checkbox"/> 是 (具体说明存在的问题) |
| | <input checked="" type="checkbox"/> 否 |

评阅意见

| 评 价 要 素 | | | 权重 | 具体得分 (百分制) |
|---------|-----------|--|-----|---------------|
| 1 | 论文选题 | 选题的理论意义、实用价值 | 10% | 9% |
| 2 | 文献综述 | 反映该学科及相关领域的前人成果和前沿动态 | 15% | 14 |
| 3 | 创新成果 | 论文成果创新性, 对学科发展、技术进步、经济建设、国家安全等方面产生的影响和贡献 | 40% | 38 |
| 4 | 基础理论和专门知识 | 基础理论的宽厚度、坚实度, 专门知识的系统性、深入性 | 10% | 9 |
| 5 | 科研能力 | 论文体现科研潜质与独立科研能力 | 15% | 14 |
| 6 | 论文写作 | 论文结构、撰写规范性; 文字表达准确、清晰和流畅性; 引文严谨、规范性 | 10% | 9 |
| 总体评价 | | | 总分 | 93 |

注: “分数”栏每项均按百分制整数评分, 各项满分均为 100 分。评分分为四档: 大于等于 90 分为优秀; 大于等于 75 分小于 89 分为良好; 大于等于 60 分小于 74 分为一般; 小于 60 分为差。

对学位论文的学术评语：（请对论文的学术水平、创新性做出简要评述，包括选题意义，文献资料的掌握，论文创新之处，写作规范和逻辑性等。还须明确指出论文中存在的问题和不足之处。可另附页）

论文题目：单离子导体聚合物电解质固态锂电池的研究

作者姓名：高静

锂电池具有理论比容量高的优点，研究和开发固态锂电池是实现锂电池高安全性和实际应用的有效途径。论文围绕研究和开发抑制树枝晶生长的单离子导体聚合物电解质，通过提高电解质膜的离子电导率，改善电极界面接触，制备高比能、长循环寿命的锂电池，具有重要的科学意义和应用价值。以Li-Nafion/LiNafion/LCZA0和NCA三种固态电解质膜制备了固态锂电池，提高电池循环稳定性。论文文献综述全面，实验工作量大，写作规范，逻辑清晰，是一篇优秀的学位论文。

是否同意组织学位论文答辩

（请在相应栏内划“√”）

☒ 同意答辩

☐ 修改后答辩

☐ 不同意答辩

学术道德评价

(一票否决)

| 评价要素 | 评价意见 (请在相应栏内划“√”) |
|------------------------------|--|
| 是否存在剽窃他人成果、伪造数据、由他人代写等严重作假行为 | <input type="checkbox"/> 是 (具体说明存在的问题) |
| | <input checked="" type="checkbox"/> 否 |

评阅意见

| 评 价 要 素 | | | 权重 | 具体得分 (百分制) |
|---------|-----------|--|-----|---------------|
| 1 | 论文选题 | 选题的理论意义、实用价值 | 10% | 96 |
| 2 | 文献综述 | 反映该学科及相关领域的前人成果和前沿动态 | 15% | 95 |
| 3 | 创新成果 | 论文成果创新性, 对学科发展、技术进步、经济建设、国家安全等方面产生的影响和贡献 | 40% | 86 |
| 4 | 基础理论和专门知识 | 基础理论的宽厚度、坚实度, 专门知识的系统性、深入性 | 10% | 90 |
| 5 | 科研能力 | 论文体现科研潜质与独立科研能力 | 15% | 89 |
| 6 | 论文写作 | 论文结构、撰写规范性; 文字表达准确、清晰和流畅性; 引文严谨、规范性 | 10% | 89 |
| 总体评价 | | | 总分 | 89 |

注: “分数”栏每项均按百分制整数评分, 各项满分均为 100 分。评分分为四档: 大于等于 90 分为优秀; 大于等于 75 分小于 89 分为良好; 大于等于 60 分小于 74 分为一般; 小于 60 分为差。

对学位论文的学术评语：（请对论文的学术水平、创新性做出简要评述，包括选题意义，文献资料的掌握，论文创新之处，写作规范和逻辑性等。还须明确指出论文中存在的问题和不足之处。可另附页）

论文题目： 单离子导体聚合物电解质固态锂电池的研究
作者姓名： 高静

是否同意组织学位论文答辩

（请在相应栏内划“√”）

☒ 同意答辩

☐ 修改后答辩

☐ 不同意答辩

论文题目：单离子导体聚合物电解质固态锂电池的研究

作者姓名：高 静

固态电解质可以有效抑制锂枝晶的生长，改善锂离子电池的安全性和循环寿命。论文围绕抑制锂枝晶生长的单离子导体聚合物电解质，开展提高离子电导率、改善其与正/负极的界面性能深入系统地研究。选题对发展高比能、长循环寿命的锂电池具有重要的科学意义和实际意义。

论文对固态锂电池、锂枝晶的生长、固体电解质和锂的沉积行为及影响因素等的研究进展现状进行了总结与评述，在此基础上，制备研究了单离子导体聚合物膜、与无机杂化聚合物膜以及双层聚合物膜的固态电池。

通过离子交换反应制备了单离子导体的 Li-Nafion 膜，其电导率在 70°C 时，离子电导率达 $2.1 \times 10^{-4} \text{ S/cm}$ ，电化学窗口为 0--4.0 V vs Li^+/Li ，锂离子迁移数为 0.928，金属锂沉积均匀，以 PEO- LiClO_4 构建的固态锂电池可逆放电比容量为 1072.8 mAh/g，具有良好的循环稳定性。将 Li-Nafion 与无机陶瓷纳米颗粒杂化形成复合电解质膜，室温离子电导率和电化学窗口都得到提高，用该复合膜分别与磷酸铁锂和三元高镍正极材料构成的固态锂离子电池，充放电循环后无明显锂枝晶生长现象，0.2 C 放电比容量分别为 160 mAh/g 和 180 mAh/g，接近液态电解质时活性材料的比容量，且具有良好的循环稳定性。这些结果具有明显的创新性，促进固态锂电池的发展。

论文的文献综述全面，撰写规范、数据可信，结论合理。表明作者较好地掌握了化工专业基础知识和相关的专门知识，具备了独立从事科研工作的能力；论文达到了博士学位论文的要求。同意进行博士论文答辩，并建议授予工学博士学位。

学术道德评价

(一票否决)

| 评价要素 | 评价意见 (请在相应栏内划“√”) |
|------------------------------|--|
| 是否存在剽窃他人成果、伪造数据、由他人代写等严重作假行为 | <input type="checkbox"/> 是 (具体说明存在的问题) |
| | <input checked="" type="checkbox"/> 否 |

评阅意见

| 评 价 要 素 | | | 权重 | 具体得分 (百分制) |
|---------|-----------|--|-----|---------------|
| 1 | 论文选题 | 选题的理论意义、实用价值 | 10% | 95 |
| 2 | 文献综述 | 反映该学科及相关领域的前人成果和前沿动态 | 15% | 90 |
| 3 | 创新成果 | 论文成果创新性, 对学科发展、技术进步、经济建设、国家安全等方面产生的影响和贡献 | 40% | 92 |
| 4 | 基础理论和专门知识 | 基础理论的宽厚度、坚实度, 专门知识的系统性、深入性 | 10% | 90 |
| 5 | 科研能力 | 论文体现科研潜质与独立科研能力 | 15% | 90 |
| 6 | 论文写作 | 论文结构、撰写规范性; 文字表达准确、清晰和流畅性; 引文严谨、规范性 | 10% | 92 |
| 总体评价 | | | 总分 | 91.5 |

注: “分数”栏每项均按百分制整数评分, 各项满分均为 100 分。评分分为四档: 大于等于 90 分为优秀; 大于等于 75 分小于 89 分为良好; 大于等于 60 分小于 74 分为一般; 小于 60 分为差。

对学位论文的学术评语：（请对论文的学术水平、创新性做出简要评述，包括选题意义，文献资料的掌握，论文创新之处，写作规范和逻辑性等。还须明确指出论文中存在的问题和不足之处。可另附页）

论文题目：单离子导体聚合物电解质固态锂电池的研究
作者姓名：高静

固态锂电池具有比能量高、安全性好等优点，是目前研究的热点。博士论文“单离子导体聚合物电解质固态锂电池的研究”围绕研发能够抑制锂枝晶生长的单离子导体聚合物电解质等工作，选题具有一定的理论与实际意义。

论文采用离子交换及界面修饰法制备了 Li-Nafion 膜，构建的锂硫电池 70 °C 时 0.05 C 倍率下的可逆放电比容量为 1072.8 mAh·g⁻¹，1 C 倍率下循环 70 次的容量保持率为 89%，比 PEO-LiClO₄ 固态锂硫电池表现出好的循环稳定性。制备了 Li-Nafion/LLZAO 有机-无机复合固体电解质膜，30 °C 时电导率为 2.26×10⁻⁴ S·cm⁻¹，以此复合膜构建的 LiFePO₄/Li 固态电池 0.2 C 倍率下首次放电比容量为 160 mAh·g⁻¹，1 C 倍率下循环 500 次的容量保持率为 88%。以 PVDF-HFP-LiTFSI-SN 为聚合物电解质膜，构建了 NCA 固态锂电池，全电池测试结果表明，其循环稳定性良好。

上述结果具有一定的创新性。

论文文献资料掌握全面，所用资料、实验结果和计算可靠，写作规范，逻辑性好，表现出具有扎实的理论技术、良好的科研素质与较强的研究能力。论文达到博士论文水平，同意参加博士论文答辩，并建议授予博士学位。

是否同意组织学位论文答辩

（请在相应栏内划“√”）

☒ 同意答辩

☐ 修改后答辩

☐ 不同意答辩

学术道德评价

(一票否决)

| 评价要素 | 评价意见 (请在相应栏内划“√”) |
|------------------------------|--|
| 是否存在剽窃他人成果、伪造数据、由他人代写等严重作假行为 | <input type="checkbox"/> 是 (具体说明存在的问题) |
| | <input checked="" type="checkbox"/> 否 |

评阅意见

| 评 价 要 素 | | | 权重 | 具体得分 (百分制) |
|---------|-----------|--|-----|---------------|
| 1 | 论文选题 | 选题的理论意义、实用价值 | 10% | 10 |
| 2 | 文献综述 | 反映该学科及相关领域的前人成果和前沿动态 | 15% | 13 |
| 3 | 创新成果 | 论文成果创新性, 对学科发展、技术进步、经济建设、国家安全等方面产生的影响和贡献 | 40% | 38 |
| 4 | 基础理论和专门知识 | 基础理论的宽厚度、坚实度, 专门知识的系统性、深入性 | 10% | 8 |
| 5 | 科研能力 | 论文体现科研潜质与独立科研能力 | 15% | 13 |
| 6 | 论文写作 | 论文结构、撰写规范性; 文字表达准确、清晰和流畅性; 引文严谨、规范性 | 10% | 8 |
| 总体评价 | | | 总分 | 90 |

注: “分数”栏每项均按百分制整数评分, 各项满分均为 100 分。评分分为四档: 大于等于 90 分为优秀; 大于等于 75 分小于 89 分为良好; 大于等于 60 分小于 74 分为一般; 小于 60 分为差。

对学位论文的学术评语：（请对论文的学术水平、创新性做出简要评述，包括选题意义，文献资料的掌握，论文创新之处，写作规范和逻辑性等。还须明确指出论文中存在的问题和不足之处。可另附页）

论文题目：单离子导体聚合物电解质固态锂电池的研究

作者姓名：高 静

固态锂电池被视为是实现锂金属负极实际应用最有效的途径之一，得到了研究人员的广泛关注。高静同学的博士论文主要开发了具有抑制锂枝晶生长作用的 Li-Nafion 膜聚合物电解质和 Li-Nafion/LLZAO 复合固态电解质，并研究和改善了此复合电解质与 NCA 正极材料的界面问题。选题新颖，具有重要的科学意义和应用价值。

该论文的主要创新点有：

1. 通过锂化 Nafion 膜得到了 Li-Nafion 单离子导体聚合物电解质膜，其在单离子聚合物固态电解质中具有较高的离子电导率，70℃时的离子电导率为 $2.1 \times 10^{-4} \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$ 。利用此电解质与硫正极匹配，制备了性能较为优异的锂硫电池，1 C 倍率下正极比容量为 895 mAh g^{-1} ，循环 70 次后容量保持率为 89%。

2. 制备了 Li-Nafion/LLZAO 复合固态电解质，利用两者界面处形成的空间电荷层降低了锂离子迁移能垒，从而提升了复合电解质膜的离子电导率，30℃时离子电导率为 $2.26 \times 10^{-4} \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$ 。基于此复合固态电解质膜构建了具有优异电化学性能的 Li/LiFePO₄ 电池，30℃时 1 C 倍率下循环 500 次容量保持率为 88%。

3. 利用 Li-Nafion/LLZAO 复合固态电解质和三元高镍 NCA 正极材料构建了 NCA 固态锂电池，发现此复合电解质膜与 NCA 正极在高荷电状态下会发生界面化学反应，随后通过在界面处添加 PVDF-HFP-LiTFSI-SN 界面层改善了界面状态，构建了以 PVDF-HFP-LiTFSI-SN 和 Li-Nafion-10 wt.% LLZAO 复合膜作为双层电解质的 NCA 固态锂电池，此电池具有较优的电化学性能，0.2 C 倍率下首次放电比容量为 180 mAh g^{-1} ，循环 100 次后容量保持率为 88%。

该论文对本领域的文献资料掌握较为全面，该论文的完成反映了作者掌握了扎实的专业理论基础知识和实验技能，具备独立从事科研工作的能力。该论文写作规范、逻辑性强，数据可靠、分析合理，表述清楚，结论可信。

该论文不足之处：锂金属负极与 Li-Nafion 膜之间界面的化学稳定性问题需要更加详细的研究，希望在未来的工作中能够进一步完善此内容。

是否同意组织学位论文答辩

（请在相应栏内划“√”）

☒ 同意答辩

☐ 修改后答辩

☐ 不同意答辩