



ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21) 2025/1000.2

(22) 02.07.2025

(45) 19.09.2025, бюл. №38

(72) Сулейменова Диана Адилхановна; Ибраева Аягоз Кайруллакызы; Маникс П. Баланэй; Баптаев Бахытжан Джумаханович

(73) Частное учреждение «National Laboratory Astana»

(74) Суюндуков Мади Жмайевич

(56) M. -R. Kim et al., "Preparation and Properties of Zn₅(OH₈)Cl₂ as an Inorganic Filler in Poly (vinylidene fluoride) based Electrolytes for Dye-Sensitized Solar Cells" Bull. Korean Chem. Soc., 2025, 46, 211-220.

(54) **СПОСОБ УЛУЧШЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, СЕНСИБИЛИЗИРОВАННЫХ КРАСИТЕЛЕМ**

(57) Полезная модель относится к области солнечной фотоэнергетики, возобновляемой энергетики, фотоэлектрических преобразователей энергии, а именно к солнечным элементам, сенсibilизированным красителем (СЭСК), для прямого преобразования солнечной энергии в электрическую.

Задачей полезной модели является разработка способа получения СЭСК с электролитом на основе окислительно-восстановительной пары йода/трийодида с добавлением ковалентно-органического каркаса (КОК), который позволяет улучшить стабильность и повысить эффективность преобразования солнечной энергии в электрическую (КПД).

Основными преимуществами заявляемой полезной модели являются:

- повышение эффективности СЭСК на 22%, использование КОК привело к увеличению КПД до 10.81%;

- высокая долговременная стабильность, через 960 часов хранения при комнатной температуре СЭСК сохранил 95% начальной эффективности;

- применение в условиях комнатного освещения СЭСК достигла КПД 27.4% при освещении 6000 люкс, что делает материал перспективным для применения внутри помещения;

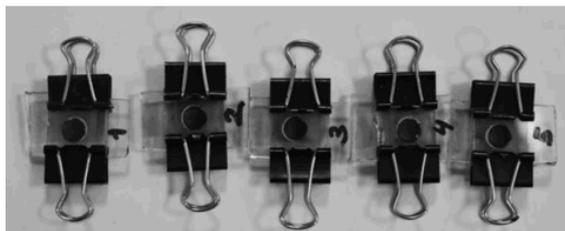
- простота получения СЭСК: жидкий электролит смешивается с КОК при комнатной температуре без сложных стадий или постобработки – далее непосредственно собирается СЭСК.

Таким образом, предлагается простой и надежный способ улучшения СЭСК, с жидким электролитом на основе окислительно-восстановительной пары йода/трийодида с добавлением КОК, обеспечивающий быстрый транспорт иона, подавления рекомбинации и стабилизации электролита для повышения стабильности и эффективности.

Электрохимические свойства полученных СЭСК охарактеризованы с помощью поляризационной кривой J-V график, а также приведены фотогальванические характеристики (см. фигуру 2).

Полезная модель разработана в рамках грантового финансирования (ИРН AP23490505) Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Способ улучшения стабильности и эффективности солнечных элементов, сенсibilизированных красителем



Фигура 1.

Полезная модель относится к области возобновляемой энергетики, солнечной фотоэнергетики, фотоэлектрических преобразователей энергии, а именно к солнечным элементам, сенсбилизированным красителем (СЭСК), для прямого преобразования солнечной энергии в электрическую (КПД).

Последние достижения подтверждают, что жидкие электролиты (ЖЭ) остаются одними из самых эффективных компонентов в СЭСК в стандартных условиях глобального солнечного света AM1.5. Однако, несмотря на превосходные характеристики, ЖЭ имеют существенные недостатки, включая коррозию, летучесть и утечку, которые препятствуют долгосрочной стабильности работы СЭСК и ускоренному износу устройства.

Известны разнообразные СЭСК с жидкими электролитами с различными нанонаполнителями (наноразмерные оксиды металлов, карбиды металлов и материалы на основе углерода), а также с квазитвердыми и твердыми электролитами.

Структурно наиболее близким аналогом заявленного СЭСК является полимерные-гелевые электролиты с использованием поли(этиленгликоль)-функционализированных триблок-сополимеров АБА, включающих поли(акрилонитрил-со-N,N-диметилакриламид)-блок-поли(этиленгликоль)-блок-поли(акрилонитрил-со-N,N-диметилакриламид), у которого эффективность преобразования энергии в электричество (КПД) 10.02% (Masud, K.M. Kim, H.K. Kim. Polymer Gel Electrolytes Based on PEG-Functionalized ABA Triblock Copolymers for Quasi-Solid-State Dye-Sensitized Solar Cells: Molecular Engineering and Key Factors. ACS Appl. Mater. Interfaces 12, 2020, 42067).

К недостаткам аналога относятся:

- синтез полимерных соединений основан на проведении реакции RAFT-полимеризации, где требуется RAFT-агент и термический инициатор. Данной методикой получают полимеры с низкой дисперсностью и функциональным концом цепи;

- полимер SGT-626 называют оптимальным, однако он потребовал 16 весовых процентов загрузки, что относительно высокий показатель для функциональных полимерных матриц;

- немного низкие фотогальванические и электрохимические характеристики солнечного элемента, сенсбилизированным красителем;

- испытание на стабильность проводилось только в течение 800 часов.

Известен СЭСК, приготовленного с использованием квазитвердого электролита с титановым металл-органическим каркасом, у которого КПД 10.51% (A. Ibrayeva, Z. Imanbekova, U. Abibulla, Y. Tashenov, B. Bartayev, M.P. Balanay, Scientific Report, 15, 2025, 5883).

К недостаткам аналога относятся:

- снижение холостого хода (V_{oc});
- нестабильность металл-органических каркасов под воздействием света и тепла;
- агрегация СКСЭ, при увеличении концентрации титанового металл-органического каркаса.

Также известен СЭСК с использованием PVDF- $Zn_5(OH)_8Cl_2$ вместо электролита у которого КПД 7.52% (M.-R. Kim, S.S. Park, W. Oh, S. Lee, G. Kim, M. Yoo, H. Ying, P. Oh, S. Lee, Bull. Korean Chem. Soc. 46, 2025, 211).

К недостаткам аналога относятся:

- максимальная достигнутая КПД - 7.52%;

- только при 15% массы $Zn_5(OH)_8Cl_2$ достигается наилучший результат. Ниже эффективность падает;
- отсутствие данных как меняется эффективность со временем СКСЭ.

Таким образом, перед авторами стояла задача разработать простой и надежный способ получения СЭСК с электролитом на основе окислительно-восстановительной пары йода/трийодида с добавлением ковалентно-органического каркаса (КОК), который позволяет улучшить стабильность и повысить КПД.

Поставленная задача решена в предлагаемом способе получения СЭСК устройств, состоящей из подложки из проводящего стекла SnO_2 , легированного фтором (FTO), пористую нанокристаллическую полупроводниковую оксидную пленку (наиболее используемым является TiO_2), сенсбилизированную красителем (обычно биридиновыми комплексами рутения) для поглощения видимого света, слой окислительно-восстановительного электролита (обычно органический растворитель, содержащий окислительно-восстановительную систему, например, пару йодид/трийодид) для раскисления оксидированного красителя, и платинированный противозлектрод для сбора электронов и каталитического восстановления окислительно-восстановительной пары.

Преобразование света в электричество в СЭСК основано на инъекции электрона из фотовозбужденного состояния сенсбилизированного красителя в полосу проводимости мезопористого слоя. Краситель восстанавливается путем получения электронов от йодида в электролите. Йодид восстанавливается, в свою очередь, за счет восстановления трийодида на противозлектроде, при этом цепь завершается миграцией электронов через внешнюю нагрузку. Напряжение, генерируемое при освещении, должно соответствовать разнице между уровнем Ферми электрона в мезопористом слое и окислительно-восстановительным потенциалом электролита. В целом, устройство генерирует электрическую энергию из света без каких-либо необратимых химических преобразований.

Предлагаемый способ иллюстрируется следующим примером конкретного исполнения.

Стекланные подложки из оксида олова, легированного фтором (1.5×2.0 см) сначала тщательно очищали, а затем замачивали в 50 мМ водном растворе изопропоксида титана в 2М (HCl) соляной кислоты при $70^\circ C$ в течение 35 минут. После обработки подложки промывали деионизированной водой и спекали при $500^\circ C$ в течение 30 минут для формирования компактного мезопористого слоя. Затем прозрачная паста TiO_2

(размер частиц: 18-20 нм) наносилась с помощью техники ракельного ножа для формирования мезопористого слоя. Пленки с покрытием высушивались на воздухе в течение 1 часа, затем поэтапно спекались при 125°C в течение 5 минут, 325°C в течение 10 минут, 425°C в течение 15 минут и, наконец, при 500°C в течение 30 минут. После охлаждения слой светорассеивающего TiO₂ (размер частиц: 150-250 нм) был нанесен аналогичным образом методом ракельного ножа и спечен по тому же термическому профилю после сушки на воздухе в течение 1 часа. Полученные фотоаноды охлаждали примерно до 70°C и погружали в раствор красителя, содержащий 0.5 mM N719 и 0.75 mM хенодесоксихолевоной кислоты в смеси трет-бутанола и ацетонитрила в соотношении 1:1 (об/об). Процесс сенсibilизации проводили в темноте при комнатной температуре в течение 24 часов. После адсорбции красителя фотоаноды промывали этанолом и сушили при 70°C. Противоеlectроды были приготовлены на стеклянных подложках из оксида олова, легированного фтором (1.5×2.0см). Сначала промывали их мыльным раствором, далее этанолом, затем сушили и наносили платиновую пасту, после чего отправляли для спекания при 500°C в муфельную печь в течение 30 минут. Electroлит был приготовлен в следующем составе: 0,03 M I₂, 0,05 M LiI, 0,10 M GuSCN, 0,6 M BMII и 0,5 M tBP в смеси ацетонитриле:3-метоксипропионитриле в соотношении 1:1 с добавлением 10мг КОК на 0.5мл жидкого электролита.

Для сборки устройства приготовленный электролит вводился в активную область (1см²) между фотоанодом и противоеlectродом, которые герметизировались с помощью двухсторонней клейкой пленкой толщиной 60 мкм. Каждый элемент собирался в одинаковых условиях, а все фотоэлектрические измерения проводились на пяти независимо изготовленных устройствах для обеспечения воспроизводимости (см. фигура 1).

Основными преимуществами заявляемой полезной модели являются:

- повышение эффективности СЭСК на 22%, использование КОК привело к увеличению КПД до 10.81%;

- высокая долговременная стабильность, через 960 часов хранения при комнатной температуре СЭСК сохранил 95% начальной эффективности;

- применение в условиях комнатного освещения СЭСК достигла КПД 27.4% при освещении 6000 люкс, что делает материал перспективным для применения внутри помещения;

- простота получения СЭСК: жидкий электролит смешивается с КОК при комнатной температуре без сложных стадий или постобработки – далее непосредственно собирается СЭСК.

Таким образом, предлагается простой и надежный способ улучшения СЭСК, с жидким электролитом на основе окислительно-восстановительной пары йода/трийодида с добавлением КОК, обеспечивающий быстрый транспорт иона, подавления рекомбинации и стабилизации электролита для повышения стабильности и эффективности.

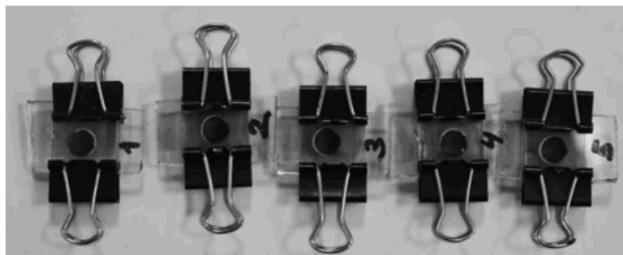
Электрохимические свойства полученных СЭСК охарактеризованы с помощью поляризационной кривой J-V график, а также приведены фотогальванические характеристики (см. фигуру 2).

Полезная модель разработана в рамках грантового финансирования (ИРН AP23490505) Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

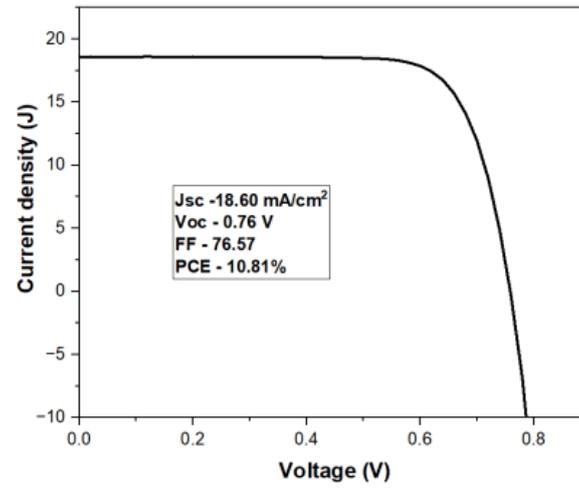
ФОРМУЛА ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ

Способ улучшения стабильности и эффективности солнечных элементов, сенсibilизированных красителем, включающий введение ковалентно-органического каркаса в жидкий электролит на основе окислительно-восстановительной пары йода/трийодида, *отличающийся* тем, что первоначально в состав жидкого электролита входит 0.03M (I₂) йода, 0.05M (LiI) литий йода, 0.6M (BMII) 1-бутил-3-метилимидазол йодида, 0.5M (tBP) 4-tertбутилпиридина, 0.10M (GuSCN) тиоцианат гуанидина растворенных в ацетонитриле:3-метоксипропионитриле в соотношении 1:1 (об/об), затем смешивают с ковалентно-органическим каркасом с концентрацией 20мг/мл.

Способ улучшения стабильности и эффективности солнечных элементов, сенсibilизированных красителем



Фигура 1.



Фигура 2.