

# Самонастраивающаяся настольная лампа со светодиодами на основе датчика TCS3414CS<sup>1</sup>

А. ГЭ, Ч. ЛИН, С. ТАО, Р. ХАО, Ц. ЧЭНЬ

Университет Фудан, Шанхай, Китай  
E-mail: amge@fudan.edu.cn

## Аннотация

В статье описана конструкция самонастраивающейся настольной лампы со светодиодами. Освещённость на рабочей плоскости и коррелированная цветовая температура в случае комбинированного освещения измеряются при помощи многоканального колориметрического датчика TCS3414CS. Встроенный в настольную лампу микроконтроллер регулирует выходные параметры устройства управления для светодиодов таким образом, чтобы обеспечивать постоянство освещения. Результаты экспериментов показали, что независимо от того, как меняется общее освещение, эта настольная лампа может обеспечивать удовлетворительное комбинированное освещение, при котором освещённость и коррелированная цветовая температура поддерживаются на заданных уровнях, повышая уровень комфорта для потребителя.

**Ключевые слова:** настольная лампа, освещение, коррелированная цветовая температура, колориметрический датчик, светорегулирование.

## 1. Введение

По мере быстрого развития светодиодной техники люди начинают обращать всё большее внимание скорее на качество, комфортность и экологичность освещения, чем на его яркость и стоимость. В нашей повседневной жизни наиболее широко используемыми вспомогательными осветительными приборами являются настольные лампы. На современном рынке присутствуют настольные лампы с СД, относящиеся, в основном, к двум типам [1]: традиционные настольные лампы без возможности светорегулирования и «умные» настольные лампы, световые потоки и коррелированные цветовые температуры (КЦТ) которых могут регули-

роваться вручную. Однако при изменении общего освещения настольные лампы первого типа не способны поддерживать постоянное освещение рабочей плоскости. А так как осуществляемое вручную регулирование зависит исключительно от интуитивного восприятия пользователя, то настольные лампы второго типа могут обеспечить слишком высокий или слишком низкий уровень освещения, которые при длительном восприятии могут оказать вредное воздействие на зрение. Кроме того, ручное регулирование противоречит современному подходу к конструированию бытовых приборов, в основу которого положены интеллектуальность, ориентированность на людей и экологичность. При этом потребители имеют разные предпочтения в части КЦТ, и требования, предъявляемые ими к цвету, зачастую зависят от конкретных условий. Например, тёпло-белый свет больше подходит для чтения во время отдыха, тогда как белый свет с высокой КЦТ может способствовать поддержанию активной умственной деятельности в рабочие часы [2]. Для лучшего удовлетворения потребности в качественном освещении и была разработана описанная в данной статье самонастраивающаяся настольная лампа с СД, способная осуществлять регулирование как освещённости, так и КЦТ. При изменении общего освещения эта настольная лампа может отрегулировать световой поток СД таким образом, чтобы обеспечить посто-

янство уровня освещения и при этом поддерживать заданное значение КЦТ комбинированного (общего + обеспечиваемого СД) освещения.

## 2. Конструкция

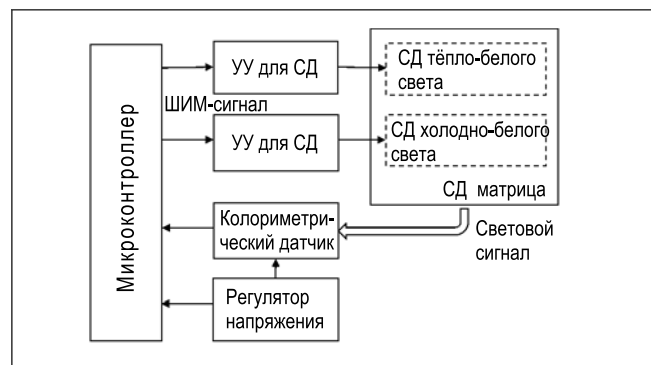
Описываемая настольная лампа состоит из микроконтроллера, устройств управления (УУ) для СД, колориметрического датчика [3, 4], регуляторов напряжения и СД матрицы (рис. 1).

СД матрица включает в себя СД двух типов, имеющих разные КЦТ, что позволяет регулировать КЦТ света настольной лампы. Для расширения границ регулирования цвета, а также для удовлетворения требований к выходному световому потоку настольной лампы, для неё были выбраны СД серии XLamp XPE компании Cree, характеризующиеся разнообразием спектральных характеристик и высокой эффективностью. Для рассматриваемой конструкции были выбраны СД с КЦТ, равными 2600 и 6500 К, мощностью 2 Вт каждый.

Расположенный на держателе настольной лампы колориметрический датчик может регистрировать комбинированный свет и передавать информацию микроконтроллеру, который, в свою очередь, рассчитывает КЦТ комбинированного освещения и освещённость, создаваемую комбинированным освещением на рабочей плоскости, и сравнивает полученные результаты с заданными значениями, с тем, чтобы осуществить адаптивное управление излучением СД.

Из соображений безопасности, напряжение питания настольной лампы было ограничено значением 12 В, обеспечиваемым внешним преобразователем переменного напряжения в постоянное. Т.к. нормированное значение напряжения питания микроконтроллера и колориметрического датчика составляет 3,3 В, то на пе-

Рис. 1. Блок-схема настольной лампы



<sup>1</sup> Перевод с англ. Е.И. Розовского

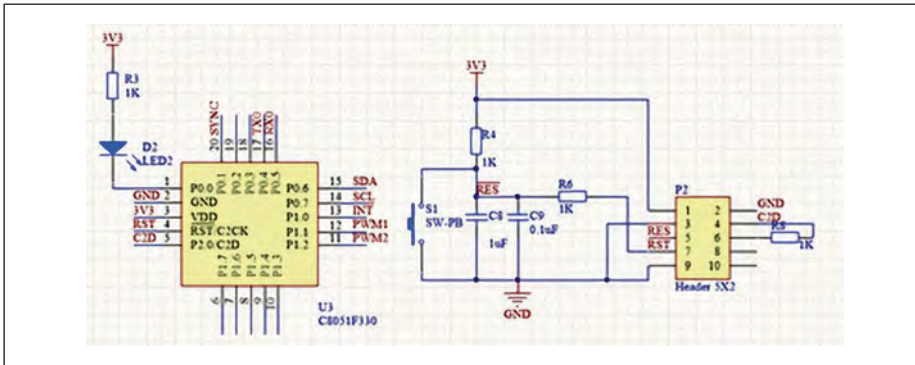


Рис. 2. Схема микроконтроллера и интерфейса его программирования

чатной плате предусмотрены дополнительные регуляторы напряжения.

### 3. Компоненты

#### 3.1. Управляющая схема (рис. 2)

Микроконтроллер, который является ключевым элементом конструкции, отвечает за генерацию ШИМ-сигналов, связь с колориметрическим датчиком и регулирование света настольной лампы в соответствии с алгоритмом управления. Для этой конструкции был выбран 8-разрядный микроконтроллер 8051F330 компании Silicon Laboratories, который включает в себя высокоскоростное 8051-совместимое ядро микроконтроллера с конвейерной обработкой данных и различные периферийные устройства. Помимо разнообразных цифровых интерфейсов, таких как системная управляющая шина (SMBus), универсальный асинхронный интерфейс (UART) и последовательный периферийный интерфейс (SPI), C8051F330 содержит ещё и многочисленные счётчики и может генерировать ШИМ-сигналы в 4-х независимых каналах, что прекрасно удовлет-

воряет предъявляемые к конструкции требования.

#### 3.2. Колориметрический датчик

Для обеспечения заданных значений освещённости на рабочей плоскости и КЦТ при комбинированном освещении, в рассматриваемой конструкции используется 4-канальный цифровой колориметрический датчик TCS3414CS компании AMS. Этот датчик включает в себя матрицу из 8x2 снабжённых светофильтрами фотодиодов, аналого-цифровые преобразователи и УУ, расположенные на одной монолитной интегральной микросхеме на комплементарных МОП-транзисторах. Из 16-ти фотодиодов, 4 снабжены красными светофильтрами, 4 – зелёными светофильтрами и 4 – синими светофильтрами, а остальные 4 фотодиода светофильтров не имеют. На рис. 3а приведена кривая спектральной чувствительности датчика TCS3414CS, на рис. 3б приведены спектральные кривые чувствительности человеческого глаза, а на рис. 3в проведено сравнение этих нормированных кривых.

Т.к. длины волн и значения полной ширины на половине максимума у пиков кривых чувствительности датчика и человеческого глаза почти совпадают, то микроконтроллер может рассчитать значения освещённости и КЦТ и использовать полученные результаты как основу для регулирования. Расчёт освещённости осуществляется в соответствии с уравнением (1), а уравнения (2) – (5) отображают процесс определения КЦТ [5, 6]:

$$E = (-0.32466)R + (1.57837)G + (-0.73191)B \quad (1)$$

$$\begin{cases} X = (-0.14282)R + (1354924)G + (-0.95641)B \\ Y = (-0.32466)R + (1.57837)G + (-0.73191)B \\ Z = (-0.68202)R + (0.77073)G + (0.56332)B \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} x = X / (X + Y + Z) \\ y = Y / (X + Y + Z) \end{cases} \quad (3)$$

$$n = (x - 0.3320) / (0.1858 - y), \quad (4)$$

$$CCT = 449n^3 + 3525n^2 + 6823.3n + 5. \quad (5)$$

где  $R$ ,  $G$  и  $B$  – выходные сигналы красного, зелёного и синего каналов датчика TCS3414CS соответственно.

Связь между микроконтроллером и колориметрическим датчиком осуществляется при помощи шины межсоединений интегральных схем  $I^2C$  (рис. 4). Время накопления сигнала выбрано равным 154 мс.

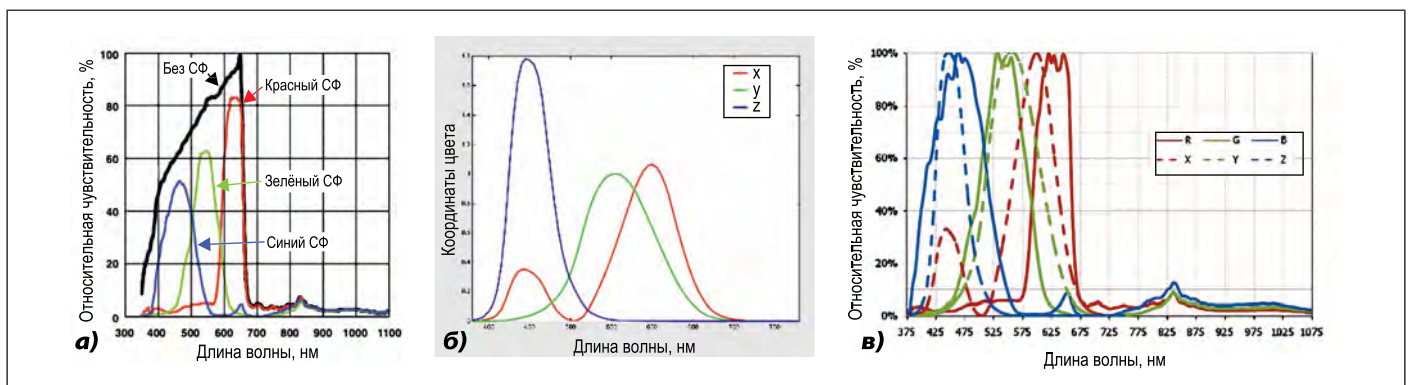


Рис. 3. а – Кривые чувствительности датчика TCS3414CS (СФ – светофильтр); б – кривые чувствительности человеческого глаза; в – сравнение нормированных кривых

Рис. 4.  
Колориметрический датчик TCS3414CS

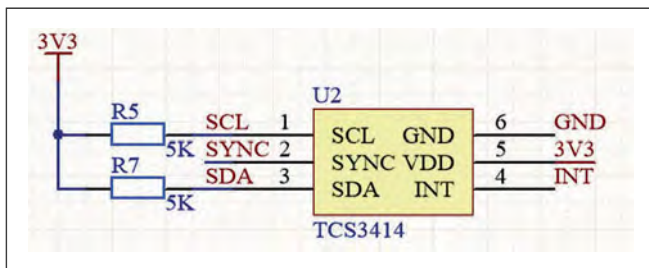
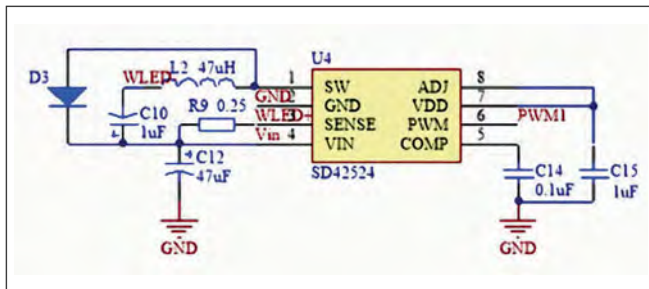


Рис. 5. Устройство управления для СД



### 3.3. Устройства управления для СД

УУ для СД играют важную роль в конструкции описываемой настольной лампы. Общими требованиями к УУ являются высокий КПД и хорошая точность управления режимом работы СД [7]. Для модулирования светового потока в рассматриваемой конструкции использовались преимущества, предоставляемые высокоэффективным УУ SD42524 компании Silan с пошаговым управлением ШИМ. При равном 12 В входном напряжении постоянного тока, это УУ может обеспечить равный 1 А непрерывный выходной ток с защитой от перегрева и ограничением тока. Две микросхемы SD42524 используются для независимого задания двух различных значений КЦТ излучения СД. Для упрощения алгоритма управления, УУ для СД регулируются таким образом, чтобы суммарный световой поток СД с КЦТ 2600 К был равен суммарному световому потоку СД с КЦТ 6500 К при равных 1 одинаковых коэффициентах заполнения. Схема УУ для СД приведена на рис. 5.

### 4. Светорегулирование

В описываемой конструкции используется двухступенчатое светорегулирование, которое позволяет обеспечить требуемое значение освещенности на рабочей плоскости, настроить КЦТ комбинированного освещения и поддерживать неизменность освещения.

Вначале микроконтроллер получает от колориметрического датчика текущее значение освещенности и сравнивает его с требуемым значением:

$$e = E_m - E_t, \quad (6)$$

где  $E_m$  и  $E_t$  – измеренное и требуемое значения освещенности соответственно. Если абсолютное значение  $e$  окажется выше порогового, то микроконтроллер одновременно увеличит (если  $e > 0$ ) или уменьшит (если  $e < 0$ ) в одинаковое количество раз выходные мощности обоих УУ. Обычно после нескольких циклов регулирования с использованием отрицательной обратной связи разница между измеренным и требуемым значениями освещенности уменьшается до пороговой.

После выполнения требования к освещенности наступает вторая стадия светорегулирования, направленная на обеспечение постоянства КЦТ комбинированного освещения. Как и в случае освещенности, сначала определяется разница между реальным и заданным значениями КЦТ. Затем, если имеет место превышение порогового значения разности КЦТ, микроконтроллер изменит в одинаковое количество раз, но в разных направлениях, выходные токи обоих УУ. Например, если измеренное значение КЦТ превышает требуемое, то световой поток СД тепло-белого света будет увеличен, тогда как световой поток СД холодного-белого света будет уменьшен. И наоборот.

Для обеспечения плавности изменения модуляции, настройка как освещенности, так и КЦТ осуществлялась

посредством регулирования по отклонению [8]. Для примера рассмотрим регулирование освещенности, когда объектом регулирования служит коэффициент заполнения ШИМ-сигнала, который рассчитывался по формуле:

$$D(n+1) = D(n) + P \cdot e, \quad (7)$$

где  $D(n)$  – текущий коэффициент заполнения,  $D(n+1)$  – коэффициент заполнения в следующий момент,  $P$  – коэффициент пропорциональности. Значение  $P$  нельзя делать ни слишком большим, ни слишком малым, т.к. это приведёт к нестабильности светового потока или к необходимости увеличения количества циклов регулирования, необходимых для получения требуемого значения освещенности. Для рассматриваемой конструкции значение  $P$  определялось при помощи следующего эмпирического выражения:

$$P = \frac{0.0002(E_t - E_a)}{E_{LED}}, \quad (8)$$

где  $E_a$  – освещенность, создаваемая общим освещением, которую можно измерить при выключенных СД, а  $E_{LED}$  – максимальная освещенность, которую могут создать на рабочей плоскости СД, относящиеся к одному отдельно взятому каналу. Этот же коэффициент пропорциональности используется и применительно к регулированию КЦТ.

### 5. Имитационные эксперименты и их результаты

Для проверки системы регулирования были проведены две серии имитационных экспериментов. Как показано на рис. 6, СД матрица закреплялась на регулируемом держателе, а плата управления была размещена на столе рядом с держателем. Расстояние между СД матрицей и смонтированным на печатной плате колориметрическим датчиком было равно примерно 50 см, что соответствует типичному для чтения расстоянию.

#### Эксперимент № 1:

Требуемая освещенность: 500 лк, отклонение – 50 лк.

Результаты измерений приведены в табл. 1.

#### Эксперимент № 2:

Требуемая освещенность: 750 лк, отклонение – 50 лк.

Значения освещённости и КЦТ при различных вариантах проведения эксперимента № 1

Вариант	Освещённость, лк (светильник с СД выключен)	КЦТ, К (светильник с СД выключен)	Освещённость, лк (светильник с СД включён)	КЦТ, К (светильник с СД включён)
Все прочие источники света выключены в ночное время	0	–	495	4033
Включена отдалённая люминесцентная лампа	208	3123	506	3965
Включена расположенная поблизости люминесцентная лампа	385	3353	497	3950
Открытые окна в полдень	244	4698	513	4076

Таблица 2

Значения освещённости и  $T_c$  при различных вариантах проведения эксперимента № 2

Вариант	Освещённость, лк (светильник с СД выключен)	КЦТ, К (светильник с СД выключен)	Освещённость, лк (светильник с СД включён)	КЦТ, К (светильник с СД включён)
Все прочие источники света выключены в ночное время	0	–	746	5023
Включена отдалённая люминесцентная лампа	200	3221	756	5095
Включена расположенная поблизости люминесцентная лампа	392	3307	743	4952
Открытые окна в полдень	256	4701	771	5026

Требуемая КЦТ: 5000 К, отклонение – 100 К.

Результаты измерений приведены в табл. 2.

Из результатов экспериментов можно сделать вывод, что при разных условиях освещённость изменяется в пределах 3 %, а КЦТ – в пределах 2 %. Для стабилизации светового потока требуется не более 20 циклов регулирования с использованием обратной связи, то есть меньше чем 3 с.



Рис. 6. Имитационный эксперимент

## 6. Заключение

В статье описана конструкция самонастраивающейся настольной лампы с СД. Освещённость на рабочей плоскости и КЦТ комбинированного освещения измеряются многоканальным колориметрическим датчиком *TCS3414CS*. На основе показаний датчика, встроенный микроконтроллер осуществляет регулирование выходных сигналов УУ для СД, так чтобы поддерживать постоянство освещения. Результаты экспериментов показали, что независимо от изменений как освещённости, создаваемой общим освещением, так и его КЦТ, настольная лампа с СД может обеспечить удовлетворительное освещение, характеризующееся требуемыми значениями освещённости и КЦТ и созданием комфортных для пользователя условий. Конкретная механическая конструкция настольной лампы в статье не приведена, но при реальном производстве плата управления может быть размещена в основании лампы с маленьким люком над датчиком цвета, что позволяет проводить измерения параметров освещения.

Аймин Гэ благодарит Китайский совет по предоставлению стипендий за финансирование исследований, которые он проводил в Университете шт. Юта и Университете шт. Калифорния, Мерсед, США (грант № 2010610538). Данное исследование финансировалось Шанхайским естественнонаучным фондом, Китай (грант № 15ZR1402400).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cong-Hong, L.L., Yan, Y. A new design of the intelligent LED table lamp // Information Technology. – 2013.
2. Chou, C.W., Chiang, Y.H., Tu, H.W., et al. Effect of LED desk lamp for working efficiency // International Conference on Electrical and Control Engineering. IEEE, 2011:5868–5872.
3. Caicedo, D., Li, S., Pandharipande, A. Smart lighting control with workspace and ceiling sensors // Lighting Research & Technology. – 2017. – Vol. 49. – No. 4. – P. 446–460.
4. Anandan, M. Color sensor integrated light emitting diode for LED backlight // US patent No. US20070170449. 2007.
5. Smith, J. Calculating Color Temperature and Illuminance using the TAOS TCS3414CS Digital Color Sensor // Intell. OPTO Sens. – 2009. – Vol. 25. – P. 1–7.
6. Ohno, Y., Hardis, J.E. Four-Color Matrix Method for Correction of Tristimulus Colorime-

ters // Proc. 5<sup>th</sup> Color Imaging Conf.: Color Science, Systems and Applications, 1997. – P. 65–68.

7. Chiu, H.J., Lo, Y. K., Chen, J.T., et al. A High-Efficiency Dimmable LED Driver for Low-Power Lighting Applications // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2010. – Vol. 57, No. 2. – P. 735–743.

8. Mahdavian, M., Wattanapongsakorn, N. PID controller tuning and optimizing for greenhouse lighting application considering real-time pricing in the smart grid // Proc. 17<sup>th</sup> Int. Computer Science and Engineering Conf. (ICSEC2013), 4–6.09.2013, Nakorn Pathom, Thailand. – P. 85–90.



**Гэ Аймин (Ge Aiming)**, Ph.D. Доцент Университета Фудан. Область научных интересов: теория и техника оптоэлектронных систем, проектирование оптических систем для создания изображений и освещения, точные измерения и измерительные приборы и т.д.



**Чжу Лин (Zhu Ling)**. Область научных интересов: оптические устройства и системы на основе поверхностей произвольной формы, эффективные автомобильные осветительные приборы, например, фонари заднего хода



**Синьжэнь Тао (Xingtao Tao)**, аспирант Университета Фудан. Область научных интересов: оптические элементы из материалов с изменяющимся показателем преломления и новые методы проектирования оптических систем



**Рулон Хао (Rulong Hao)**, Ph.D. Обучается в Университете Фудан. Область научных интересов: оптические системы для создания изображений и освещения, комбинированные системы освещения



**Чэнь Цзинюй (Chen Jingyu)**, обучается в магистратуре Университета Фудан. Область научных интересов: интеллектуальные системы управления освещением и соответствующие оптические системы, совмещение освещения светодиодными и естественно-го освещения

## Извинения редакции

Редакция журнала приносит свои извинения авторам статьи **Матвееву Н.В. и Пашкевич М.Л. «Влияние драматургии светового сценария на эффективность сеанса аудио-визуальной стимуляции»**, опубликованной в журнале № 4 за 2017 г., в которой по вине редакции допущена ошибка: не приведены данные статистической обработки результатов.

Ниже приведены эти результаты.

Статистическая достоверность результатов экспериментов была определена по критерию Вилкоксона (*Wilcoxon signed-rank test*) [8] с помощью пакета *SPSS Statistics*. Рассчитывались значения сдвигов, проводилось их ранжирование и определялись значения р-уровня для количества просмотренных символов и общего количества ошибок для каждой фокус-группы. Средние значения, средняя ошибка исходных измеренных параметров и значения р-уровня представлены в таблице 1. Минимальное значение р-уровня составляет  $p=0.12$ .

В таблице 2 представлены средние значения сдвигов показателей точности, скорости переработки информации и рассчитанные по ним средние сдвиги показателя продуктивности для каждого типа контента.

В таблице 2 представлены средние значения сдвигов показателей точности, скорости переработки информации и рассчитанные по ним средние сдвиги показателя продуктивности для каждого типа контента.

Таблица 1. Значение р-уровня по критерию Вилкоксона

Динамика изменения спектра	$n_{cp}$	$SD_n$	$p$	$N_{cp}$	$SD_N$	$p$
Оригинальный сценарий	0.865	0.016	0.08	1.541	0.049	0.09
Без динамики, $\lambda=445$ нм	0.925	0.021	0.08	2.136	0.093	0.09
Без динамики, $\lambda=520$ нм	0.909	0.032	0.11	1.844	0.106	0.12
Без динамики, $\lambda=637$ нм	0.918	0.016	0.08	1.859	0.121	0.10

Таблица 2. Изменение показателей для разных типов контента

Динамика изменения спектра	$\Delta n_{cp}$	$\Delta N_{cp}$	$\Delta S_{cp}$
Оригинальный сценарий	-2 %	10 %	11 %
Без динамики, $\lambda=445$ нм	-2 %	6 %	8 %
Без динамики, $\lambda=520$ нм	-3 %	-1 %	0 %
Без динамики, $\lambda=637$ нм	0 %	5 %	5 %

## Модифицированные квантовые точки снижают стоимость электроэнергии

В Лос-Аламосской национальной лаборатории Минэнерго США разработан прототип двуслойного оконного стеклопакета, который, наряду с задачами пропускания света, тепло- и звукоизоляции выполняет функции высокоэффективной солнечной батареи.

Реализовать это удалось, объединив люминесцентный солнечный концентратор и тандемную конструкцию из двух слоёв недорогих, получаемых из раствора квантовых точек, которые поглощают свет в разных частях спектра солнечного излучения.

Квантовые точки были модифицированы добавлением ионов марганца, играющих роль примесей с высокой излучательной способностью. Поглощаемый квантовыми точками свет активирует эти примеси, после чего ионы марганца испускают фотоны с энергией ниже порога поглощения квантовой точки. Этот трюк позволил практически избавиться от потерь, связанных с самопоглощением в квантовых точках.

Слой таких легированных марганцем квантовых точек наносится на поверхность фронтального стекла для поглощения голубого и ультрафиолетового участков спектра. Улавливание остальных фотонов осуществляется на заднем стекле, покрытом слоем квантовых точек из селенида меди/индия.



Генерируемые путём переизлучения длинноволновые фотоны испытывают полное внутреннее переотражение в стекле и направляются к его краям, где интегрированные в раму солнечные элементы преобразуют их в электричество.

nanonewsnet.ru  
03.01.2018