

Анализ ошибок рельефа рассеивающих микроструктур в моделировании светопроводящих систем

Н.Н. БОГДАНОВ, А.Д. ЖДАНОВ, Д.Д. ЖДАНОВ, И.С. ПОТЁМИН

Университет ИТМО, Санкт-Петербург

E-mail: nnbogdanov@corp.ifmo.ru

Аннотация

Рассматриваются основные технологические подходы к изготовлению светопроводящих систем с рассеивающими микроструктурами с особым вниманием к влиянию способа обработки оптического материала на геометрические параметры формируемой микроструктуры. Актуальность этого вызвана недостаточностью проработки вопросов влияния искажения формы микроструктурных рассеивающих элементов (из-за технологических особенностей их изготовления) на выходное распределение яркости светопроводящих систем. На примере светопроводящей системы, изготовленной по технологии фрезерования, проведено физически корректное моделирование этой системы и показано влияние рельефа микроструктуры на выходное распределение яркости. Для моделирования использовался программный комплекс «Lumicept», обеспечивающий физическую корректность результатов моделирования.

Ключевые слова: светопроводящая пластина, рассеивающие микроструктуры, ошибки микрорельефа, светодиодные панели освещения, компьютерное моделирование, распределение яркости, проектирование, светопроводящие осветительные устройства.

1. Введение

В настоящее время на освещение расходуется порядка 20 % всей вырабатываемой в мире электроэнергии [1], что делает актуальной задачу снижения энергопотребления всех осветительных устройств (ОСУ). В мире уделяется большое внимание вопросам проектирования [2–4] и производства [5, 6] энергоэффективных и эргономичных специальных ОСУ со светопроводящими системами. К таким ОСУ можно, в частности, отнести: тонкие светодиодные панели;

ОСУ заднего освещения ЖК-дисплеев; ОСУ салонов самолётов, автомобилей, приборных панелей и рекламных щитов.

Данная тематика вызывает большой интерес у таких ведущих мировых производителей, как *Asahi Kasei*, *Denso*, *Panasonic*, *Fiji-Film*, *Toshiba* и др. Так, японская компания *Denso* производит широкий спектр светопроводящих ОСУ для приборных панелей, основанных на технологиях рассеивающих микроэлементов [7], корейские *Samsung* и *LG* на базе рассеивающих микроэлементов производят оптоэлектронные устройства массового потребления [8, 9], а российские компании «Квазар» и «ВОЛО» разрабатывают светопроводящие системы с рассеивающими микроэлементами для оборонной промышленности. Многочисленные патенты, касающиеся специфики формирования геометрии и параметрических функций распределения рассеивающих микроструктурных элементов, а также публикации в ведущих научных журналах и трудах международных конференций (*Proc. SPIE*, *Optical Engineering*, *Applied Optics*, *Optical Review* и др.) по проблемам физически корректного моделирования и проектирования светопроводящих ОСУ [10–13] говорят о большом интересе к данному вопросу.

Равномерность распределения излучения по светопроводящим устройствам обеспечивается микрогеометрическими элементами (светорассеивающими микроструктурами), нанесёнными на поверхность светопроводящего элемента. Моделирование оптимальной структуры микроэлементов – достаточно сложная задача, требующая значительных вычислительных ресурсов. Как правило, результатом проектирования являются форма рассеивающих элементов, их координаты и ориентация на поверхности светопроводящей пластины.

Одна из основных проблем проектирования ОСУ данного вида заключается в том, что результаты проектирования, основанные на физически корректных законах распространения света, могут отличаться от реальных светотехнических характеристик изготовленного ОСУ. Ошибки проектирования могут объясняться отсутствием данных о способе изготовления светопроводящих систем и технологических особенностях формирования рассеивающих микроструктур, необходимых для построения корректной модели, используемой при проектировании.

В настоящей статье предлагается метод моделирования ошибок изготовления рассеивающих микроструктур на примере проектирования светопроводящих ОСУ заднего освещения ЖК-дисплеев, а также рассматриваются способы формирования микрогеометрических элементов с описанием возможных дефектов их изготовления.

2. Технологии нанесения микрогеометрических элементов на оптическую поверхность

Размеры микроэлементов обычно составляют десятки микрометров и для их изготовления требуются особые технологии. Современное технологическое оборудование позволяет формировать микроэлементы для светотехнических систем с высокой точностью и приемлемым качеством. Существует несколько способов производства микроэлементов. Основные из них – горячая штамповка, шелкография, гравировка и фрезеровка.

2.1. Горячая штамповка

Горячая штамповка является распространённым процессом производства изделий из полиметилметакрилата (ПММА) и поликарбоната и применяется для изготовления геометрических форм, размеры которых составляют десятки и сотни микрометров. Посредством штамповки возможно формирование светорассеивающих микроэлементов, к которым предъявляются высокие требования по толщине и качеству поверхности. Горячая штамповка выполняется поэтапно. Предварительно нагретую до температуры размягчения (140–190 °С) заготовку из ПММА устанавливают под пресс, а затем создают кон-

такт между оптической поверхностью и прессом, придавая заготовке требуемую форму [14]. По завершении формирования готовое изделие охлаждают в форме.

В ходе прессования могут возникать волнообразные искажения поверхности (механические волны), которые при охлаждении заготовки застывают [15]. Такие искажения оказывают существенное влияние на характер рассеяния света микроструктурой, что влияет на пространственное распределение яркости светопроводящего ОСУ и может привести к его отличию от расчётного распределения.

2.2. Шелкография

Шелкография – ещё одна из распространённых технологий нанесения микроструктур на плоскую оптическую поверхность. (Её также называют трафаретной печатью.) Данная технология подразумевает нанесение слоя светорассеивающего состава толщиной в несколько десятков микрометров, обладающего хорошей стойкостью и долговечностью.

При выполнении шелкографии на поверхность изделия через специальный трафарет наносится эмульсионный слой, а поверх него – светорассеивающий состав. С помощью УФ источника излучения эмульсионный слой облучается, и те участки этого слоя, куда излучение «попало», отверждаются, а остальные (необлучённые) участки вымываются. В процессе печати на поверхность изделия через свободные от эмульсии участки сетки продавливают светорассеивающий состав. (В качестве светорассеивающих материалов могут использоваться водные и сольвентные красящие составы, пастизоловые УФ краски и УФ лак.) Наносимые составы в процессе печати под действием УФ излучения отверждаются (полимеризуются). При этом трафарет обычно выполняют с использованием особой сетки из нейлоновых или металлических нитей.

Шелкография считается быстрой и экономной технологией изготовления светопроводящих систем [16]. Однако формируемые ею микроструктуры могут быть неоднородны и неодинаковы, а их форма может быть далёкой от требуемой [17].

2.3. Гравировка и фрезеровка

Для выполнения лазерной гравировки на ПММА используют CO_2 -лазер с длиной волны 10,6 мкм [18]. ПММА обладает высоким коэффициентом поглощения на данной длине волны, что позволяет (в зависимости от потока излучения лазера) осуществлять гравировку или резку материала. При воздействии этого излучения на материал происходит его испарение. Толщина испарённого слоя зависит от времени воздействия излучения. Точная механика, используемая на современных лазерных станках, позволяет перемещать лазерный луч по заданным линиям с точностью позиционирования до 25 мкм, что позволяет получать микрогеометрические элементы размером от 250 мкм. Тем не менее лазерная гравировка обладает рядом недостатков. В частности, невозможно получать абсолютно одинаковый микрорельеф на всей поверхности, с которой испаряется материал, что влияет на угловую диаграмму рассеивания света [19]. С помощью лазера можно обрабатывать и неплоскую поверхность, но для этого необходимо дополнительное механическое оборудование.

Что касается фрезеровки, то она рассчитана на изготовление микроструктур размером в сотни и тысячи микрометров. Фрезерная обработка плоской поверхности ПММА широко распространена [20]. Фреза перемещается по рабочему полю и в местах расположения микрострук-

турных элементов срезает слой светопроводящей пластины. Отработанные остатки материалов удаляются воздухом с поверхности заготовки. Фрезерную обработку можно применять и для изготовления криволинейных светопроводящих систем. Для этого по окончании фрезеровки необходимо с помощью специальной оснастки придать заготовке необходимую форму, а затем охладить. По завершении этих этапов формируется криволинейная поверхность со светорассеивающими микроэлементами. Для обеспечения высокой точности формирования микроэлементов предъявляются высокие требования к остроте режущего инструмента, удалению отработанных продуктов и обеспечению чистоты обрабатываемой поверхности.

У всех вышеописанных технологий изготовления микроструктур есть свои особенности, которые надо учитывать при моделировании. С одной стороны, это могут быть остаточные продукты горения при лазерной обработке ПММА, плохая повторяемость формы микроэлементов, царапины на поверхности от работы фрезы и т.п. С другой стороны, могут сформироваться случайно ориентированная шероховатость (а не зеркальная поверхность) или застывшие механические волны на поверхности, вокруг микроэлементов. Всё это существенно влияет на корректность построенной модели, и при необходимости максимального сближения результатов расчётов и работы реальных систем не-

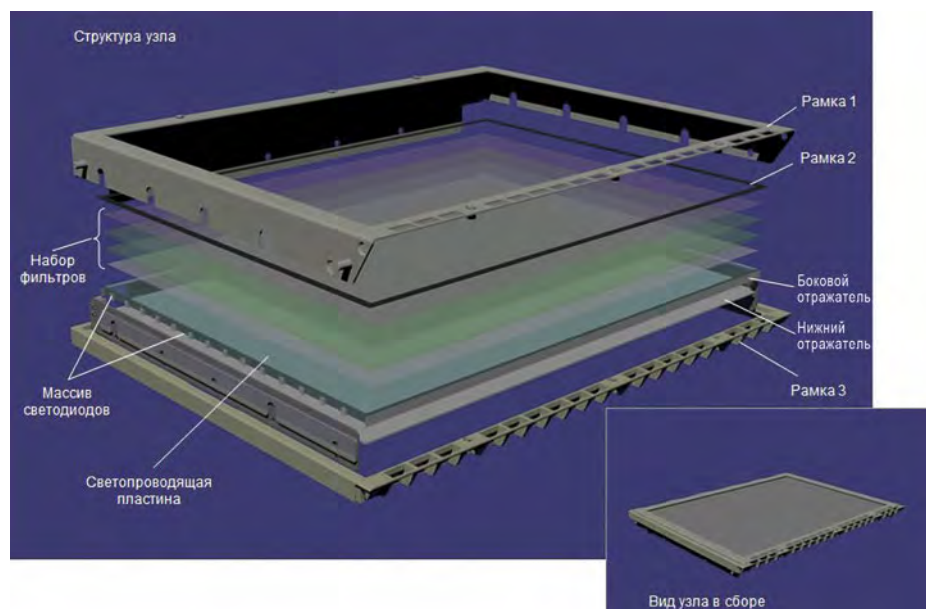


Рис. 1. ОСУ (узел) заднего освещения ЖК-дисплея

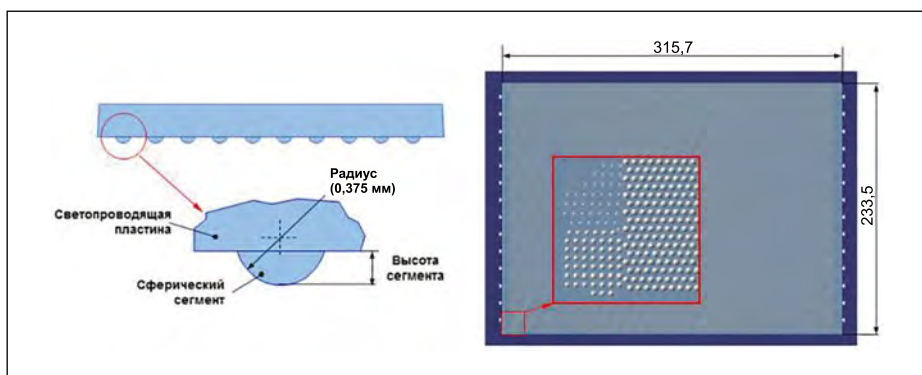


Рис. 2. Светорассеивающая микроструктура

положены с двух сторон пластины, излучают в видимом диапазоне и имеют КСС типа «Д».

Моделирование проводилось с использованием программного комплекса «Lumicept» [22]. По сравнению с аналогичными комплексами «ASAP» [23], «TracePro» [24], «LightTools» [25] и «SPEOS» [26] «Lumicept» обладает наиболее эффективным алгоритмом трассировки лучей и поддерживает практически все возможные (с точки зрения лучевой оптики) физические эффекты распространения излучения и преобразования его на оптических объектах. «Lumicept» имеет самую мощную и физически корректную модель формирования геометрических микроструктур и их пространственного распределения. Преобразование лучей в геометрической модели на микроэлементах также физически корректно. Всё это делает «Lumicept» оптимальным инструментом расчётного проектирования сложных ОСУ и анализа светового рассеяния в оптических устройствах.

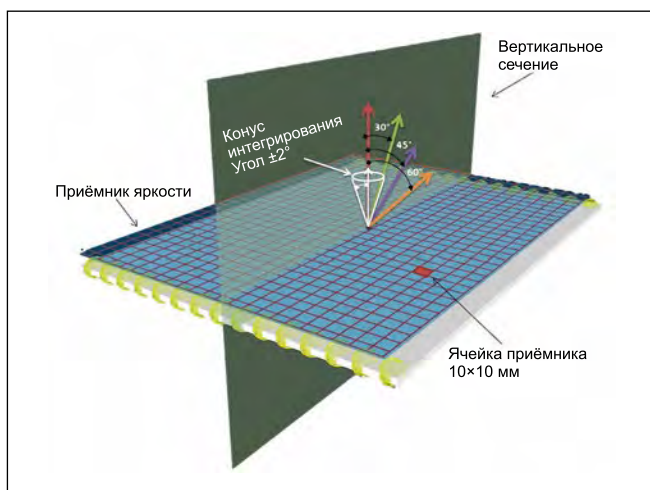


Рис. 3. Условия моделирования распределения яркости по выходной поверхности светопроводящей пластины

обходимо учитывать все возможные искажения. Авторами была поставлена и решена задача корректного моделирования светопроводящих систем, с учётом особенностей технологий их изготовления и согласованием результатов моделирования с реальным изделием. Некоторые исследователи, решая подобные задачи, пошли путём подбора параметров двунаправленной функции рассеяния поверхности элементов рассеивающей микроструктуры [21]. В данной статье предлагается альтернативный подход к корректному моделированию.

3. Пример и результаты

Рассмотрим согласование результатов измерений пространственного распределения яркости по выходной по-

верхности светопроводящей пластины с результатами моделирования на примере проекта ОСУ (узла) заднего освещения ЖК-монитора с торцевым вводом светового излучения (рис. 1).

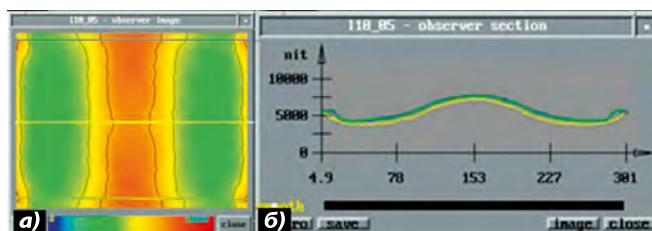
Модель светопроводящей пластины представляет собой параллелепипед из прозрачного ПММА (относительный показатель преломления 1,49 и коэффициент пропускания 0,92) с габаритными размерами по длине, ширине и толщине 315,7×233,5×4 мм соответственно. Под светопроводящей пластиной расположен диффузный отражатель (коэффициент диффузного отражения 0,89). На поверхности пластины задавалась микроструктура в виде массива из более ста тысяч сферических сегментов постоянного радиуса (400 мкм), но переменной высоты (рис. 2). 30 светодиодов рас-

В данном примере моделирования использовался метод прямой стохастической трассировки лучей. Расчёт параметров выходного излучения проводился с помощью модели приёмника яркости, расположенного в плоскости выходной грани светопроводящей пластины. Модель приёмника (рис. 3) состояла из 713 ячеек (31×23). Размер ячейки был 10×10 мм, а угол конуса интегрирования – $\pm 2^\circ$. Направление наблюдения варьировалось в диапазоне от -60° до $+60^\circ$ с шагом в 15° .

При первых попытках моделирования распределения яркости поверхность каждого элемента рассеивающей микроструктуры задавалась идеально гладкой, т.е. без какого-либо микрорельефа на ней. Результаты моделирования представлены на рис. 4, где хорошо виден подъём уровня яркости в средней зоне светопроводящей пластины.

В то же время измеренное распределение яркости изготовленного экспериментального образца светопро-

Рис. 4. Результаты моделирования распределения яркости по поверхности светопроводящей пластины в случае идеально гладкой поверхности элементов микрогеометрии, представленные в псевдоцветах: а – пространственное распределение; б – распределение в отмеченных сечениях

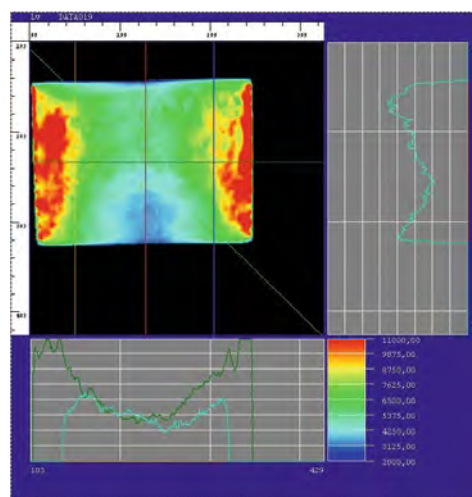


водящей пластины с рассеивающей микроструктурой (рис. 5) показывает заметный спад яркости в средней зоне выходной грани пластины, что существенно отличается от результатов моделирования, представленных на рис. 4. Такое несоответствие результатов измерения и моделирования потребовало проведения анализа для выяснения его причин.

Микроскопический анализ поверхности отдельного микроэлемента (рис. 6, а) обнаружил наличие на нём параллельных канавок (рис. 6, б), которые, очевидно, возникли при обработке пресс-формы режущим инструментом. Эти канавки имеют ярко выраженную регулярно-направленную структуру, что вполне может приводить к изменениям углового распределения выходящего из пластины света и тем самым оказывать существенное влияние на пространственное распределение яркости. К сожалению, пока ещё невозможны точные измерения ни двунаправленной функции рассеяния [27], ни мелкоструктурного рельефа на отдельном элементе микрогеометрии – сферическом сегменте. Поэтому была осуществлена попытка воспроизведения усреднённых параметров микрорельефа, наблюдаемого в микроскоп. На следующем этапе моделирования на поверхности каждого элемента микрогеометрии назначался микрорельеф в виде синусоидальных бороздок глубиной 1,2 мкм с периодом 3 мкм (рис. 6, в), оптические свойства которого не отличались от свойств светопроводящей пластины.

В первом модельном эксперименте канавки микрорельефа располагались параллельно более длинной стороне светопроводящей пластины, что соответствует нулевому углу отклонения рельефа. Как видно из рис. 7(1), при разных углах наблюдения яркость и её распределение на краях пластины варьируются. Во втором модельном эксперименте направление канавок микрорельефа было задано с отклонением в 15° для всех микроструктурных элементов. Соответственно, из рис. 7(2) видно, что распределение яркости на краях асимметрично, что ощутимо для углов наблюдения -60° , -45° , $+45^\circ$, $+60^\circ$. В третьем модельном эксперименте рельеф был повёрнут для всех микроэлементов на 30° . Соответствующее распределение яркости (рис. 7(3)) сильно зависит от

Рис. 5. Результат измерения распределения яркости по выходной грани изготовленного образца светопроводящей пластины



угла наблюдения, а асимметричность проявляется сильнее, чем в предыдущем эксперименте. Это позволяет заключить, что при изменении ориентации микрорельефа распределение яркости излучающей светопроводящей пластины меняет свою симметричность для разных углов наблюдения. В четвёртом модельном эксперименте проверялся характер влияния разнонаправленной ориентации микрорельефа. Каждая половина массива микроэлементов отклонялась на $+15^\circ$ и -15° соответственно. Полученные распределения яркости, представленные на рис. 7(4), сохраняют симметричность распределения. Однако с увеличением угла наблюдения до -60° яркость на краях светопроводящей пластины падает.

Пятый модельный эксперимент отличался от четвёртого лишь углом отклонения рельефа ($\pm 30^\circ$). Распределение яркости в этом случае симметрично (рис. 7(5)). При этом при больших углах наблюдения (-60° , -45°) яркость падает. При повороте микрорельефа на $\pm 30^\circ$ и угле наблюдения 0° результат моделирования повторяет результаты измерений распределения яркости светопроводящей пластины. Причём различие средних значений яркости составило 13 %.

Модельные эксперименты показали, что «добавление» модели микрорельефа на микроструктурных элементах позволяет согласовывать между собой результаты расчётов и измерений. При этом пространственно-угловое распределение яркости зависит от ориентации микрорельефа.

4. Заключение

Наличие дефектов оптической поверхности светопроводящих систем, возникающих при изготовлении микроструктурных рассеивателей оказывает существенное влияние на выходное светораспределение, энергоэффективность и эргономичность ОСУ в целом. Поэтому для получения корректных результатов моделирования светопроводящих систем необходимо знать и учитывать особенности технологии формирования микроструктурных рассеивающих элементов.

На примере моделирования светопроводящей пластины ЖК-дисплея с рассеивающими микроструктурами, выполненными путём горячей штамповки, было установлено, что рельеф микроструктурных элементов оказывает влияние на общее распределение яркости. Несмотря на то, что параметры микрорельефа, возникающего на

Рис. 6. Фотографии микроструктур рассеивающих элементов (а) и канавок на поверхности микроэлемента (б). Параметры рельефа канавок (в)

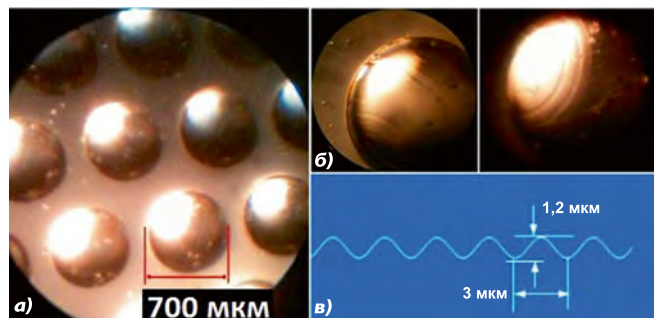
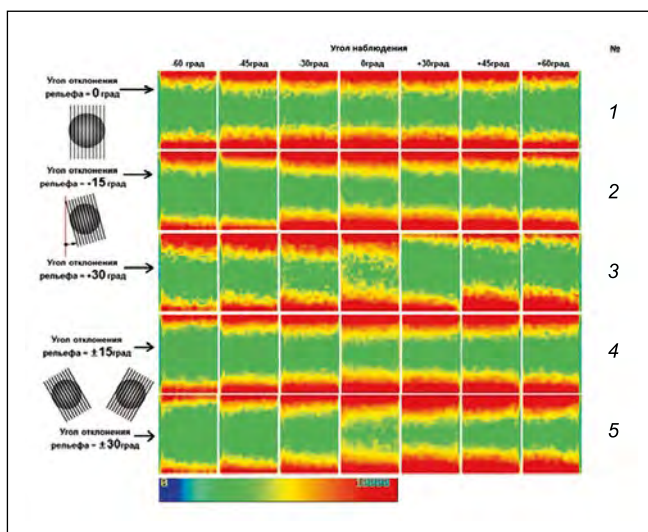


Рис. 7. Результаты моделирования распределения выходной яркости по поверхности светопроводящей пластины с учётом микрорельефа, представленные в псевдоцветах



поверхности элементов рассеивающей микроструктуры, точно измерить практически невозможно, достаточно точно подобрать параметры микрорельефа для дальнейшей оптимизации данного ОСУ позволяет ряд модельных экспериментов. Предполагая стабильность технологического процесса производства, полученные параметры микрорельефа можно использовать при моделировании и проектировании осветительных систем, светорассеивающие микроэлементы которых выполнены по аналогичной технологии. Авторами была успешно решена задача корректного моделирования светопроводящей системы с учётом особенностей технологии её изготовления и разработан подход к моделированию распределения выходной яркости и согласованию результатов с реальным распределением яркости. Использование описанного метода поможет улучшить качество проектирования светопроводящих систем в будущем.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 17-01-00363

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шпонкина Ю. Энергосбережение в электроэнергетике // ЭР.– 2014.– № 3 (57). – С. 22–24.
2. Chang-Yi Li, Jui-Wen Pan High-efficiency backlight module with two guiding modes // Applied Optics.– 2014. – Vol. 53, Iss. 8. – P. 1503–1511.
3. Young Chul Kim, Tae-Sik Oh, Yong Min Lee Optimized pattern design of light-guide plate (LGP) // Optica Applicata.– 2011. – Vol. XLI, No. 4. – P. 863–872.

4. Жданов Д.Д., Жданов А.Д., Потёмкин И.С. Быстрый метод построения локально-эквидистантных распределений микрогеометрических объектов осветительных систем // Оптика и спектроскопия.– 2015.– № 2. – С. 329–336.

5. Chao-Heng Chien, Zhi-Peng Chen Design and fabrication of the concentric circle light guiding plate for LED-backlight module by MEMS technique // Microsyst Technol.– 2007.– 13:1529–1535. – DOI 10.1007/s00542-006-0365-y.

6. Chiung-Fang Huang, Yung-Kang Shen, Yi Lin, Jen-Chang Yang Luminance and brightness field distribution of light guiding plate for backlight panel (BLP) by micro molding // Polymers for advanced technologies.– 2008. – Vol. 19, Issue 12. – P. 1887–1893.

7. URL: <http://denso.com/>; <http://denso-europe.com/products/information-safety-systems/instrument-clusters/> (дата обращения: 20.05.2017).

8. United States Patent 13/562,888 July 31, 2012. Light emitting device and system providing white light with various color temperatures / US20120293093 A1, Nov 22, 2012/ Kim; Yu-Sik. Samsung Electronics Co., Ltd. (KR).

9. United States Patent 15/048,476 Feb.19. 2016. Electronic device / US2017/0097614 A1, Apr.6, 2017/ Pilgoo Kang, Dongseuck KO and other. LG Electronics Inc.

10. United States Patent 14/918,591 October 21, 2015. Light guide plate, backlight module and display device / US9,557,469 B2 January 31, 2017/ Chang, Chia-Yin and other. Radiant Opto-Electronics Corporation.

11. Davenport T.L.R., Cassarly W.J. Optimizing Density Patterns to Achieve Desired Light Extraction for Displays // Proc. SPIE.– 2007. – Vol. 6342. – P. 63420T.

12. United States Patent 14/632,377 February 26, 2015. Backlight module having a frame element, light bar, light guiding plate and light bar cover / US9,739,930 B2, August 22, 2017// Lo; Ching-I. INNOLUX CORPORATION.

13. Zhdanov D.D., Sokolov V.G., Potemin I.S., Voloboy A.G., Galaktionov V.A., Kirilov N. Modeling and Computer Design of Liquid Crystal Display Backlight with Light Polarization Film // Optical Review.– 2014. – Vol. 21, No. 5. – P. 642–650.

14. Cheng-Huan Yang, Sen-Yeu Yang A high-brightness light guide plate with high precise double-sided microstructures fabricated using the fixed boundary hot embossing technique // Journal of Micromechanics and Microengineering.– 2013. – Vol. 23. – P. 035033.

15. Cheng-Hsien Wu and Chien-Hung Lu Fabrication of an LCD light guide plate using closed-die hot embossing // Journal of Micromechanics and Microengineering.– 2008. – Vol. 18. – P. 035006.

16. Jen-Chin Yang, Chung-Ching Huang Using UV roll-to-plate imprint lithography to fabricate light guide plates with microdot patterns // Micro & Nano Letters.– 2012. – Vol. 7, Issue 3. – P. 244–247.

17. Peiyun Yi, Hao Wu, Chengpeng Zhang, Linfa Peng, Xinmin Lai Roll-to-roll UV imprinting lithography for micro/nanostructures // Journal of Vacuum Science & Technology B.– 2015. – Vol. 33, No. 6. – P. 060801.

18. Tun-Chien Teng, Ming-Feng Kuo Optical characteristic of the light guide plate with microstructures engraved by laser // Proc. of SPIE.– 2012. – Vol. 8485.

19. Bogdanov N.N., Zhdanov A.D., Zhdanov D.D., Potemin I.S. Design of Ergonomic Illumination Systems for Cultural, Medical and Educational Facilities / EVA 2017 Saint Petersburg: Electronic Imaging and the Visual Arts: international conference, St. Petersburg, June 22–23, 2017: conference proceedings. – St. Petersburg: ITMO univ., 2017. – P. 106–111.

20. Luo Xichun, Chenga Kai, Webba Dave, Wardle Frank Design of ultraprecision machine tools with applications to manufacture of miniature and micro components // Journal of Materials Processing Technology.– 2005. – Vol. 167. – P. 515–528.

21. Tun-Chien Teng, Ming-Feng Kuo Highly precise optical model for simulating light guide plate using LED light source // Optics Express.– 2010. – Vol. 18, Issue 21. – P. 22208.

22. Lumicept – Integra Inc. URL: <http://www.integra.jp/en/products/lumicept> (дата обращения: 25.05.2017).

23. ASAP. URL: <http://www.breault.com/software/software-overview.php> (дата обращения: 20.05.2017).

24. TracePro. URL: <https://www.lambdare.com/tracepro/> (дата обращения: 25.05.2017).

25. LightTools. URL: http://www.optical-res.com/lt/ltprodds_f.html (дата обращения: 19.05.2017).

26. SPEOS. URL: <https://www.optis-world.com/product-offering-light-simulation-virtual-reality-software/SPEOS> (дата обращения: 21.05.2017).

27. Sokolov V.G., Zhdanov D.D., Potemin I.S., Garbul A.A., Voloboy A.G., Galaktionov V.A., Kirilov N. Reconstruction of scattering properties of rough air-dielectric boundary // *Optical Review*. – 2016. – Vol. 23, Issue 5. – P. 834–841. DOI: 10.1007/s10043-016-0250-6.



Богданов Николай Николаевич, инженер. Старший инженер ОАО «Интер РАО Светодиодные Системы». Аспирант кафедры «Технология визуализации» Университета ИТМО. Об-

ласть научных интересов: проектирование освещения



Жданов Андрей Дмитриевич, инженер. Младший научный сотрудник ООО «Научно-технологический вычислительный центр ИПМ». Аспирант кафедры «Технология визуализации»

Университета ИТМО. Область научных интересов: компьютерная графика, виртуальное прототипирование



Жданов Дмитрий Дмитриевич, кандидат физ.-мат. наук. Окончил в 1984 г. Ленинградский институт точной механики и оптики. Заведующий кафедрой «Технология

визуализации» Университета ИТМО. Область научных интересов: прикладная оптика, компьютерная графика, светотехника



Потёмин Игорь Станиславович, кандидат техн. наук. Окончил в 1984 г. Ленинградский институт точной механики и оптики. Старший научный сотрудник

ООО «Научно-технологический вычислительный центр ИПМ» и доцент кафедры «Технология визуализации» Университета ИТМО. Область научных интересов: прикладная оптика, компьютерная графика, светотехника

Рынок облучения светодиодами в растениеводстве и компания Amazon

Рынок облучения (освещения) светодиодами в растениеводстве (ОСДР) в 2017 г. достиг уровня около \$3,8 млрд и в основном представлен тепличным сегментом. Однако компании *Yole Développement* и *PISEO*, входящие в ГК *Yole*, считают, что в будущем возможно преобладание новых способов выращивания растений. Согласно последнему отчёту компании *Yole* по ОСДР, в средне- и долгосрочной перспективе теплицы не удержат лидерство, а развивающиеся способы, включая выращивание растений в городских условиях приведут в 2018–2023 гг. к среднегодовому темпу роста рынка ОСДР в 16,4 % в год.

Поэтому не удивляет появление стартового проекта («*Plenty*») по созданию в КНР 300 установок вертикального выращивания растений, поддерживаемого гендиректором компании *Amazon* Д. Безосом и исполнительным директором компании *Alphabet* Э. Шмидтом и уже собравшего финансирование в размере более \$200 млн.

«Вертикальные установки для выращивания растений, особенно в городах, – это, возможно, наиболее разумное решение проблемы производства свежих пищевых продуктов и овощей» – говорит П. Баули (*Pierrick Boulay*), аналитик ГК *Yole*. – Население Земли

непрерывно растёт, и к 2050 г. почти 80 % его будут жить в городах и мегаполисах. Поэтому вертикальные установки выращивания растений, несомненно, окажутся частью нашего будущего».

Выращивание растений в условиях закрытого грунта будет развиваться высокими темпами в урбанизированных районах Азии, особенно в КНР, так как этот регион сталкивается с существенным загрязнением воды и почвы. И проект «*Plenty*» – только один пример решения этой проблемы.

Приход на этот рынок *Amazon* и *Alphabet* должны учесть и другие компании. По мнению *Yole* и *PISEO*, можно ожидать, что, благодаря резкому расширению области растениеводства защищённого грунта и вертикальных установок выращивания растений, рынок ОСДР к 2027 г. достигнет уровня \$17 млрд.

Новое направление деятельности компании *Amazon* подтверждает роль вертикальных установок выращивания растений в решении проблем роста населения земного шара и пищевых ресурсов. В то же время это показывает разносторонность подхода такого гиганта как *Amazon* к внедрению во всю цепочку производства и поставки продуктов питания.

compoundsemiconductor.net

19.02.2018

