

Пластиковые системы рассеяния света в светодиодном освещении

➔ В статье обсуждается вопрос о рассеянии света в пластике. Основное внимание уделено выбору оптимального термопластичного полимера для оптических систем светодиодов и методам измерения характеристик пропускания и рассеяния света.



В последние годы производители и разработчики систем освещения отошли от традиционных источников света в сторону твердотельного освещения (SSL) на основе светодиодов. Хотя светодиоды и обладают многими преимуществами, например превосходной энергоэффективностью, эти точечные источники света также порождают и некоторые проблемы при использовании в общем освещении, например проблему блескости. Для исключения проблем с бликами необходимо проектировать системы линз и рассеивателей, оптимизированных с точки зрения рассеяния света.

В дизайне оптики стекло и прозрачные пластмассы, особенно акрил, уже давно используются в светотехнической отрасли — для целей как эстетических, так и функциональных (в оптических деталях). Но по мере того как рынок освещения все больше движется в сторону светодиодной техники, требования к хорошему рассеянию света стимулировали производителей линз и листовых материалов посвятить большую часть своей деятельности разработке подходящих решений из пластика.

При выборе типа термопластика для изготовления рассеивателя или линзы можно рассмотреть несколько вариантов. Наиболее важной характеристикой является коэффициент пропускания света. Чтобы минимизировать снижение эффективности светодиодов из-за рассеяния света, полимер в своей естественной форме должен быть очень прозрачным. Таким образом, в качестве подходящих решений мы можем рассмотреть лишь короткий перечень полимеров. А если учесть их стоимость, то в качестве приемлемых вариантов останутся только поликарбонат (ПК) и акрил (полиметилметакрилат, ПММА) с исходной стоимостью около \$2–3 за кг. Цена других полимеров может достигать \$20 за кг и даже больше.

Поликарбонат vs акрил

Выбор между PC и ПММА не очевиден. Они близки по цене, примерно одинаковы по удобству обработки и оптическим свойствам. Но на этом сходство заканчивается, и чему отдать предпочтение, будет зависеть от требований конкретного применения. В таблице сравниваются свойства, которые необходимо учитывать при выборе между этими двумя полимерами.

Чтобы принять оптимальное решение, необходимо расставить приоритеты. Например, если пластиковая деталь предназначена для использования внутри помещения, механические характеристики менее важны, и здесь акрил выходит на первое место. Если важны прежде всего оптические свойства, и уровень освещенности (люксы) должен быть как можно выше, то опять же следует предпочесть акрил. С другой стороны, если из-за строительных стандартов или риска пожара требуется огнестойкость, единственным выбором будет поликарбонат.

Модификация полимеров

При выборе между ПММА и ПК разработчику нет необходимости идти на компромисс и мириться с недостатками выбранного материала. Приведем несколько примеров возможных улучшений свойств этих материалов.

В случае с ПММА можно изменить его механические свойства. В частности, повысить ударопрочность. Для этого есть два способа. Во-первых, можно спроектировать линзу или рассеиватель с более толстыми стенками. Во-вторых — использовать высокопрочные марки ПММА. В этом случае, кроме дополнительных затрат, придется смириться с меньшим светопропусканием.

В случае с ПК возможны различные типы модификаций. Рассмотрим чувствительность к ультрафиолету (УФ), которая является проблемой для изделия, подвергающегося воздействию солнечного света. Плохую стойкость ПК к УФ можно значительно улучшить за счет введения поглотителей УФ-излучения (UVA) в массу материала. Уровень стабильности материала к УФ будет зависеть от количества добавленного поглотителя УФ-излучения. В случае когда рассеиватель изготовлен из листового поликарбоната, защита от УФ-излучения может быть выполнена с помощью соэкструзии, когда лист ПК имеет тонкий верхний слой, обогащенный UVA, что намного эффективнее и экономичнее по сравнению с добавлением UVA во всю толщу материала.

Стойкость к царапинам также можно повысить. Этого добиваются с помощью специальных покрытий, применяемых на втором этапе процесса производства. Данный вид улучшения очень популярен

в автомобильной промышленности при производстве поликарбонатных плафонов фар.

И хотя ПК значительно превосходит ПММА с точки зрения пожаробезопасности, в некоторых применениях может потребоваться еще большая огнестойкость. Это особенно актуально, когда изделие должно соответствовать стандартам пожарной безопасности. Хорошим примером может служить европейский железнодорожный стандарт (EN 45545-2), который охватывает все элементы поезда. В таких случаях поставщики освещения при производстве рассеивателей и линз для светодиодов должны использовать специальный класс ПК, содержащий огнестойкие добавки.

Анализ и методы измерения оптических характеристик

Задача измерения рассеяния света и анализа оптических характеристик может показаться простой, однако это не так. Производители и разработчики используют разные методы измерения показателей рассеяния, поскольку единого гармонизированного метода или стандарта для выражения характеристик рассеяния света не существует. А из-за отсутствия согласия при описании систем рассеяния света и при сравнении одной системы с другой возникают проблемы.

Рассеяние света определяется двумя параметрами: уровнем светопропускания

(прозрачности) и уровнем рассеяния света. Получить систему, обладающую хорошим рассеянием света и низким светопропусканием, или наоборот — высоким светопропусканием и плохим рассеянием, легко и недорого. Гораздо сложнее создать систему с высоким уровнем рассеяния света и высоким светопропусканием, которая бы снижала световой поток от источника в минимальной степени. Поэтому при измерении оптических характеристик системы необходимо измерять оба параметра: и светопропускание, и рассеяние. Оптическое качество системы можно указать только при наличии обоих параметров.

Измерение светопропускания

Из указанных выше параметров легче измерить светопропускание. Стандартным методом измерения матовости и светопрозрачности прозрачных пластмасс является ASTM D-1003. Этот стандарт был принят большинством переработчиков пластмасс для прозрачных или полупрозрачных изделий.

Для измерения светопропускания пластиковой пленки или листа обычно используют измеритель светопропускания или мутномер. На рис. 1 показан пример обычного лабораторного мутномера. Полный коэффициент пропускания — это отношение потока излучения, прошедшего среду, к потоку излучения, упавшего на нее. Полное пропускание, или светопропускание (L.T),

Т а б л и ц а . Сравнение свойств полимеров для изготовления рассеивателей

Свойства	ПММА	ПК
Ударопрочность	ПММА не обладает такой же прочностью и ударопрочностью, как ПК: удар достаточной силы разрушит его.	ПК хорошо известен своей прочностью и устойчивостью к ударам. Установленный в готовое изделие, он практически не может быть сломан. Данное свойство делает его оптимальным для изготовления защитных ограждений и экранов. Это одна из причин, по которой щитки для лица и защитные очки часто производятся из ПК.
Устойчивость к воздействиям окружающей среды	Превосходная устойчивость к атмосферным воздействиям. Со временем УФ наносит очень малый вред АК. Таким образом, это хороший выбор для использования в светотехнике, предназначенной для работы на открытом воздухе.	Очень чувствителен к УФ-излучению. При воздействии УФ ПК быстро желтеет и покрывается микротрещинами. Сопротивление разрушению под действием атмосферных условий можно улучшить, введя в объем поликарбоната УФ-поглотитель.
Термостойкость	Деформационная теплостойкость при нагрузке 18 Бар (260 psi) составляет +93 °C (200 °F).	Деформационная теплостойкость при нагрузке 18 Бар (260 psi) составляет +129 °C (264 °F).
Стойкость к царапинам и износоустойчивость	Большая, чем у ПК, стойкость к царапинам и износоустойчивость.	Очень чувствителен к царапинам и износу. Это свойство является одним из широко известных недостатков ПК. В некоторых случаях необходимо использовать упрочняющее покрытие.
Огнестойкость	Один из самых легковоспламеняющихся полимеров. Решение по улучшению огнестойкости путем введения добавок пока не найдено.	Огнестойкость V0 согласно UL-94 при толщине 3,2 мм. Существует несколько решений для улучшения огнестойкости без ущерба для прозрачности.
Оптические свойства	Светопропускаемость ~92%. Показатель преломления 1,49.	Светопропускаемость ~88%. Показатель преломления 1,58.

зависит от поглощения и отражения материала.

$$L.T (\%) = 100\% - \text{Поглощение} (\%) - \text{Отражение} (\%)$$

Значения L.T варьируются от 0% для непрозрачных систем и до 97–98% для стекла толщиной 3 мм. Для ПК такой же толщины этот показатель составляет 88–90%, а для ПММА — 92–93 %. Поглощение зависит от свойств материала и толщины образца.

Частицы или пигменты, внедренные в поверхностный слой материала, влияют на отражение и могут увеличивать степень поглощения, но не менее важно качество поверхности. Шероховатые поверхности приводят к большому рассеянию, в то время как гладкие уменьшают его до минимума. Поэтому при проектировании защитных стекол или линз с высоким L.T следует создавать как можно более гладкую поверхность.

Мутномер, в основном, используется для оценки заготовок исходного материала на этапе лабораторных исследований. То есть этот метод ограничен этапом разработки изделия. Его нельзя использовать для измерения коэффициента пропускания света или уровня яркости всей осветительной системы.

Измерение рассеяния света

В данном случае мы имеем в виду рассеяние света, прошедшего через рассеиватель. Наша цель — получить высокое



Рис. 1. Мутномер компании ВУК-Gardner широко используется для определения визуальных характеристик прозрачных материалов, например пленок, листов, пластмассовых изделий, линз или ветровых стекол. Мутномер может измерять коэффициент пропускания, мутность и прозрачность

светопропускание и высокое рассеяние, что даст нам «мягкий» свет. Для достижения высокого рассеяния можно использовать светопропускающие материалы, такие как модифицированное стекло или прозрачные пластики. Такую модификацию выполняют путем внедрения малоразмерных структур в поверхность или добавления в материал пигментов или мелких частиц.

Из-за того, что производители и разработчики используют разные термины и методы измерения для количественного определения рассеяния, не всегда просто его точно указать. Даже в лабораторных масштабах измерение рассеяния света является более сложной задачей, чем измерение L.T. Основная причина этого заключается в том, что стандартные лабораторные приборы, такие как мутномер, упоминаемый ранее, предоставляют только частичную информацию о диффузных характеристиках системы.

Уровень рассеяния света обычно указывается как мутность. Мутность определяется как количество света при широкоугольном рассеянии, при угле, превышающем 2,5° от нормали. Измерения мутности также проводятся в соответствии с ASTM D1003, и так же, как для измерения L.T, используются измеритель светопропускания

или мутномер. Основным недостатком этого параметра является его низкая чувствительность. Для уровней рассеяния от среднего до высокого мутность может быть хорошей характеристикой системы. Однако для систем с сильным рассеянием значение мутности достигает максимума, и с этого уровня мутномер не может различать разные уровни рассеяния света.

Другим лабораторным измерением на основе ASTM D1003 является измерение прозрачности. Это дополнительное измерение к измерению на мутность. Измерение прозрачности также проводится с помощью измерителя светопропускания, но значения пропускания отбираются только в пределах 2,5° от нормали. Это измерение показывает, насколько хорошо можно увидеть через оптический объект мелкие детали. В данном случае диффузные свойства измеряются косвенно. Низкая прозрачность означает, что большая часть падающего света смещается от нормали до угла более 2,5°. На рис. 2 проиллюстрированы широкоугольное рассеяние (низкая прозрачность) и рассеяние с узким углом (высокая прозрачность).

Основным преимуществом измерения прозрачности является, опять же, простота измерения. Кроме того, это измерение более

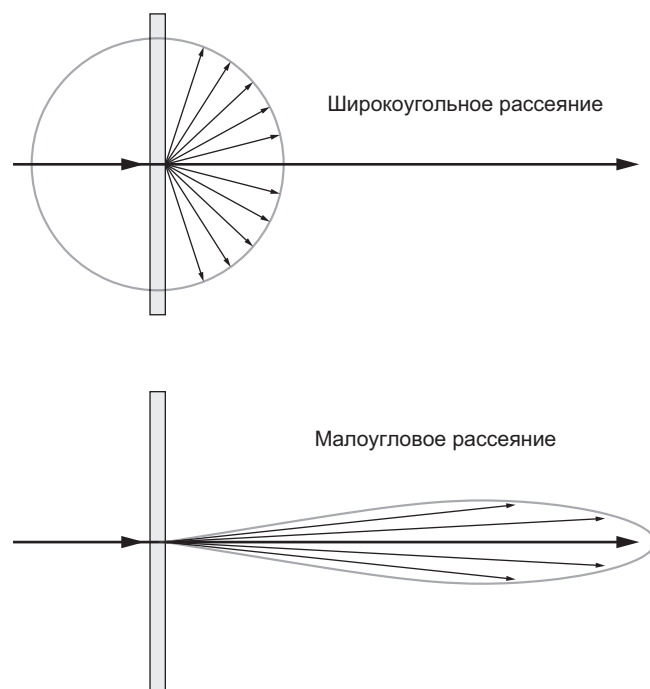


Рис. 2. На рисунках показано распределение силы света при прохождении света через оптический объект. Широкоугольное рассеяние, показанное сверху, обусловлено высокой мутностью и низкой прозрачностью. Малоугловое рассеяние, показанное внизу, — низкой мутностью и высокой прозрачностью

чувствительно по сравнению с измерением мутности. Но главным его недостатком является то, что это косвенное измерение. Прозрачность показывает, насколько прозрачна (или не прозрачна) система вокруг нормали, но это не полностью описывает способность объекта рассеивать свет.

Измерение кривой силы света

Одним из самых качественных методов для характеристики количественной светодиффузной эффективности является измерение кривой силы света (КСС). Метод основан на измерении силы света под разными углами относительно угла падения света, являющегося вертикальным по отношению к поверхности объекта. Оно проводится в диапазоне от -90° до $+90^\circ$. Конечным углом в этом измерении является угол, при котором сила света составляет половину от силы света при 0° (угол половинной яркости, HVA). Более широкие углы указывают на лучшие свойства рассеяния света. Пример HVA показан на рис. 3.

Измерение проводят, используя гониометр. С помощью соответствующих детекторов гониометр измеряет интенсивность рассеянного света под различными углами. Этот прибор является скорее

инструментом исследований и разработок, а не промышленным лабораторным оборудованием. Гониометры используются для измерения угловой зависимости различных явлений.

Преимуществом гониометрического измерения является его чувствительность, которая позволяет различать системы с высокими уровнями диффузии света. Такую чувствительность невозможно получить при измерениях мутности. Недостатком же является то, что из-за высокой стоимости испытательного оборудования для проведения этого измерения оно присутствует только в нескольких лабораториях.

Сила рассеяния света

Измерение силы рассеяния света (Light diffusion power, LDP) также является качественным методом измерения для определения свойств рассеяния. На самом деле методология LDP похожа на гониометрический метод. Основное различие заключается в том, что в измерении LDP на образец свет падает под углом 45° , а не 90° . Сила излучения с другой стороны образца регистрируется гониометром или другим измерительным прибором. Численные или графические данные интегрируются между -85° и $+85^\circ$

и делятся на площадь между этими углами. Пример графических данных приведен на рис. 4. При значениях LDP, приближающихся к 1, сила рассеивания света больше.

Среди производителей листов, профилей и линз наиболее распространенным и практичным является метод проверки «горячих точек». Это качественный анализ, не зависящий от каких-либо формальных стандартов, но при этом являющийся самым простым методом, который прямо указывает на параметры рассеивающей системы. Проверка проводится в простой камере, в нижней части которой установлена матрица или линейка со светодиодами, как показано на рис. 5. Испытуемый оптический объект помещается в верхнюю часть камеры, а затем образцы осматриваются со стороны, противоположной источнику света, чтобы определить, насколько видны через них «горячие точки» (то есть светодиоды).

Простые камеры являются статическими, то есть расстояние между источником света и объектом фиксировано. Более продвинутые камеры позволяют изменять расстояние между источником света и испытуемым объектом. Таким образом,

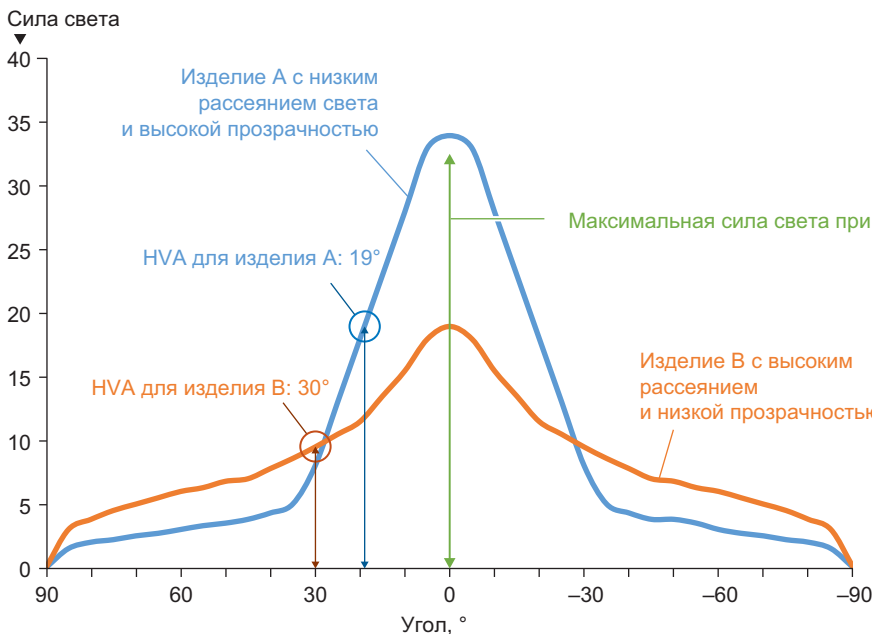


Рис. 3. На рисунке представлены две кривые силы света и HVA двух светорассеивающих систем, измеренных гониометром. Система А (синий) имеет крутой подъем в центре, что указывает на более низкое рассеяние света и более высокую прозрачность. Система В (красный) имеет плавную кривую, указывающую на большее значение рассеяния света и более низкую прозрачность

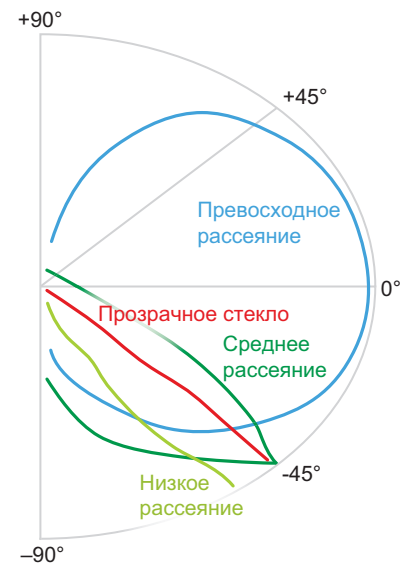


Рис. 4. На графике показаны результаты измерений распределения рассеянного света от четырех прозрачных систем: прозрачного стекла (красный), системы с низким рассеянием (оливковый), средним рассеянием (зеленый) и превосходным рассеянием (синий)

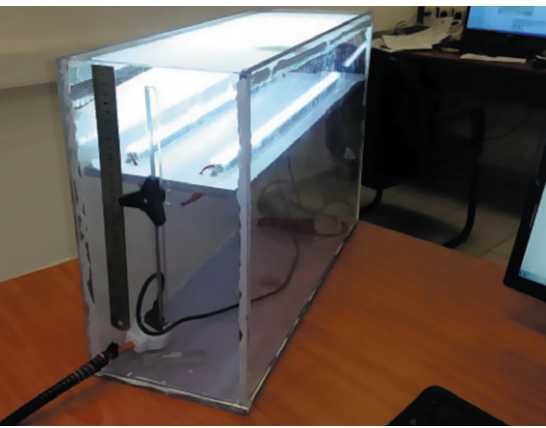


Рис. 5. Камера проверки «горячих точек» предоставляет простой способ наблюдения рассеяния и светопропускания

свойства рассеяния можно количественно определить, измерив минимальное расстояние, на котором светодиоды остаются неразличимыми. Мерная рейка со стороны камеры указывает высоту светодиодов. Чем ближе располагаются светодиоды к рассеивателям, тем менее размытыми

они становятся. Камера позволяет одновременно сравнивать несколько диффузионных систем.

На рис. 6 показано четыре оптических образца, помещенных в камеру проверки «горячих точек». Образец С размывает изображение светодиодов наилучшим образом. Но, ища компромисс между свойствами рассеяния и светопропусканием, разработчики могут выбрать образец В из-за более высокого коэффициента пропускания.

Выводы

Обмен информацией о свойствах рассеяния света — дело не простое. Производители, разработчики и потребители должны обратить внимание на компромисс между свойствами рассеяния и уровнем светопропускания. Рассмотрение только лишь характеристик рассеяния само по себе не имеет смысла, поскольку материал, кроме того, должен хорошо пропускать свет. Среди различных методов измерений свойств рассеяния измерение КСС является наиболее профессиональным. С другой

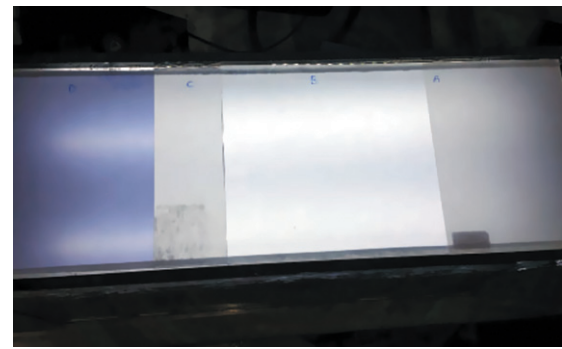


Рис. 6. Сравнение четырех оптических объектов в камере проверки «горячих точек» отражает сложность выбора оптимальной системы рассеяния

стороны, камера проверки «горячих точек» — это наиболее практичный метод, если производители и проектировщики знают и имеют ориентир, к которому они стремятся. ●

Оригинал статьи опубликован в журнале LEDs Magazine, март 2017 г.