

Сергей Никифоров, к. т. н | snikiforov@list-lab.ru

# Особенности характеристик светодиодов Moonstone от Avago Technologies

Одному из современных продуктов в области полупроводниковой светотехники, предназначенному для освещения, посвящена данная статья. Известно, что светодиоды белого цвета свечения фирмы Avago Technologies обладают приемлемыми для занятия определенной ниши в своем сегменте характеристиками. В статье предложен объективный взгляд на позиции современного продукта этого производителя с точки зрения его характеристик, полученных при исследовании, и в сравнении с некоторыми аналогами. Проведение независимой экспертизы было инициировано компанией «ЛИСТ — Лаборатория Исследований Световых Технологий» совместно с Avago Technologies в лице регионального представителя Юрия Дорожкина.

## Свет с ночного солнца

Достижения в области увеличения эффективности излучения не обошли стороной продукцию Avago Technologies, и особенно они проявились в линейке одноваттных светодиодов с романтическим именем Moonstone («Лунный камень»). В номенклатуре производителя приборы с белым цветом свечения имеют обозначение ASMT-MW09-NLLxx.

И возможно именно так, как это показано на рис. 1, и представляли себе люди частицы загадочного спутника нашей планеты, дарящие невиданную энергию.

Высокие показатели эффективности излучения складываются из многих моментов и обстоятельств, как при проектировании, так и при производстве светодиодов. Приборы, использующие систему — кристалл синего цвета свечения и люминофор, имеют гораздо больше

путей для творчества и совершенствования характеристик, чем просто светодиод на основе излучающего кристалла, где подавляющее большинство параметров определяются этим кристаллом и не подлежат существенному улучшению. Здесь не идет речь о специфическом использовании излучающих структур, где можно добиться совсем нестандартных результатов их работы, например, с особыми теплоотводящими системами, такими как элементы Пельтье, где можно достичь отрицательных температур работающего кристалла, даже когда плотность тока превышает  $100 \text{ A/cm}^2$ , что может удвоить световой поток относительно того же значения прямого тока без охлаждения. Основными «местами» для наиболее эффективной работы системы с люминофором могут стать качественные подборки параметров элементов этой системы: спектра излучения кристалла и люминесцентных свойств материала состава люминофора для обеспечения некоего «резонанса» их совместной работы. Возможен, например, монтаж кристаллов с такими спектральными характеристиками, при которых их уход со временем наработки, как правило, сопровождающийся стабилизацией через некоторое время, окажется как раз в упомянутом согласованном режиме, и деградация суммарного светового потока кристалла будет скомпенсирована таким сдвигом. Не говоря уже о том, что этот метод можно вполне совмещать с такой формой нанесения люминофора на кристалл, которая является функцией толщины от областей неравномерной деградации интенсивности по поверхности кристалла и поэтому предупреждает перераспределение его исходной оптической мощности. Как результат, мы получим светодиод с высокостабильным значением светового потока при наработке. Еще одним и самым важным моментом остается совершенствование методов нанесения люминофора на смонтированный кристалл. Это во многом затрагивает практически все фотометрические и колориметрические характеристики светодиода. От качества и формы нанесения люминофорного слоя будет зависеть и эффективность излучения, и равномерность цвета в пределах диаграмм пространственного распределения светового потока. Это тот случай, когда нужно все в меру: и толщина слоя (она может быть разной в различных областях нанесения), и общее количество.

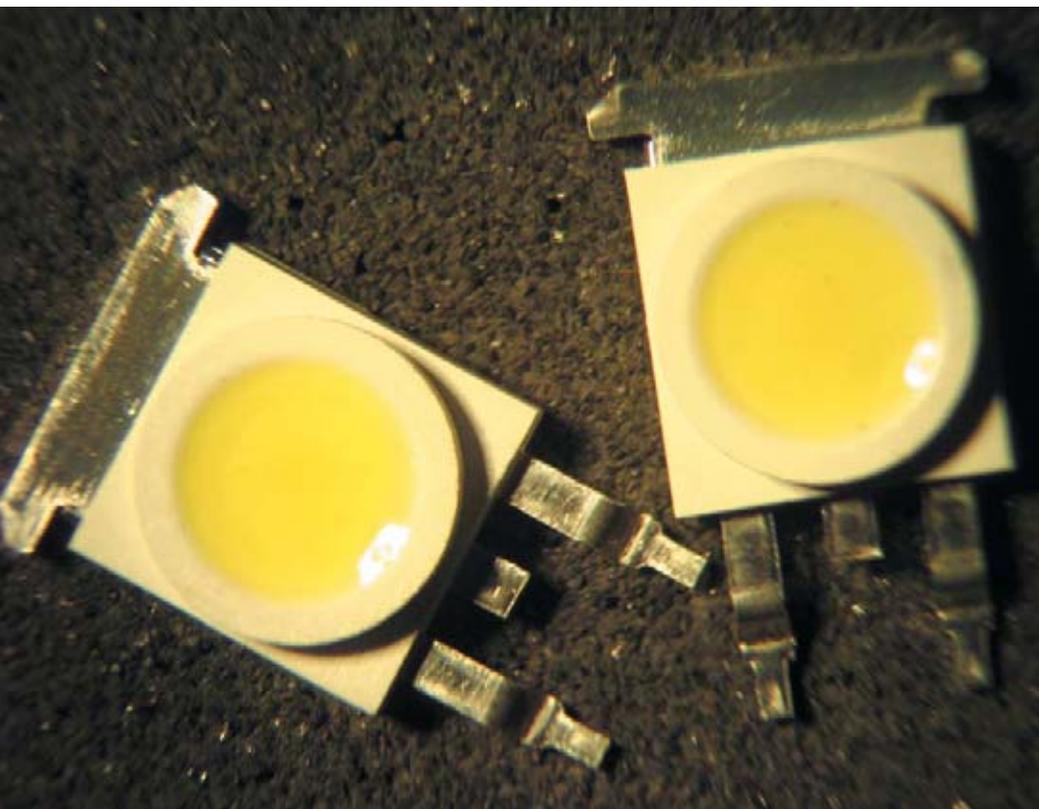


Рис. 1. Внешний вид светодиодов Moonstone

Трудно утверждать, какими методами пользуются при производстве своих приборов Avago Technologies, но по косвенным признакам понять многие доработки вполне возможно. Этому и было посвящено описываемое исследование.

Первое, на что необходимо обратить особое внимание, — это форма диаграммы пространственного распределения силы света. Она показана на рис. 2. Можно заметить, что это абсолютно косинусная диаграмма, не имеющая искажений ни в одной точке полусферы, в которой излучает светодиод (диаграммы двух представленных плоскостей практически сливаются на графике). С одной стороны, иной формы и не стоит ожидать от таких источников света, все они — практически классические излучатели, а с другой — это говорит о достаточно сбалансированном нанесении люминофора. И если бы оно не было таковым, то тут же отразилось бы на форме диаграммы в виде изломов или других искажений, потому как измерения углового распределения силы света проводились с шагом угла в 0,02 градуса и очень чувствительны к малейшим дефектам. Немаловажен тут и дизайн корпуса светодиода, от которого зависит как потенциальная возможность формирования направления излучения, так и обеспечение теплового режима кристалла. Однако если смотреть с позиции дизайнера, то, вероятно, сложно усмотреть в описываемом изделии изящество. Но, в то же время, не стоит забывать, что существует так называемая техническая красота, которая продиктована функциональностью. Поэтому можно отметить, что довольно массивный корпус, взятый за основу от транзистора, имеет хорошую теплопроводность, и его конфигурация оправдана очень малой тепловой инерционностью и степенью перегрева относительно радиатора, на котором он смонтирован.

Это может быть заметно на вольт-амперной характеристике, представленной на рис. 3, которая имеет характерный для применяемых типов кристаллов вид и не содержит видимых «завалов» в области большой плотности тока. Характеристика измерена импульсным методом, исключая значительный нагрев кристалла, однако при инерционном теплоотводе ее крутизна в указанной области изменится из-за влияния мгновенного нагрева.

Некоторым отражением сказанного являются энергетические характеристики, приведенные в таблице 1. Бины по оттенку белого заменены значением коррелированной цветовой температуры.

Можно заметить, что образцы с высокой цветовой температурой имеют существенные значения световой отдачи и светового потока. Эти параметры находятся на одной ступени с изделиями таких производителей, как Nichia, Edison, Lumileds, но что самое важное — они подтверждаются измерениями. Далее можно заметить, что с уменьшением цветовой температуры падает и световой поток. Эта ситуация характерна для всех систем с люминофором: за «потепление» оттенка белого приходится «платить» более толстым слоем люминофора или изменением его состава для увеличения

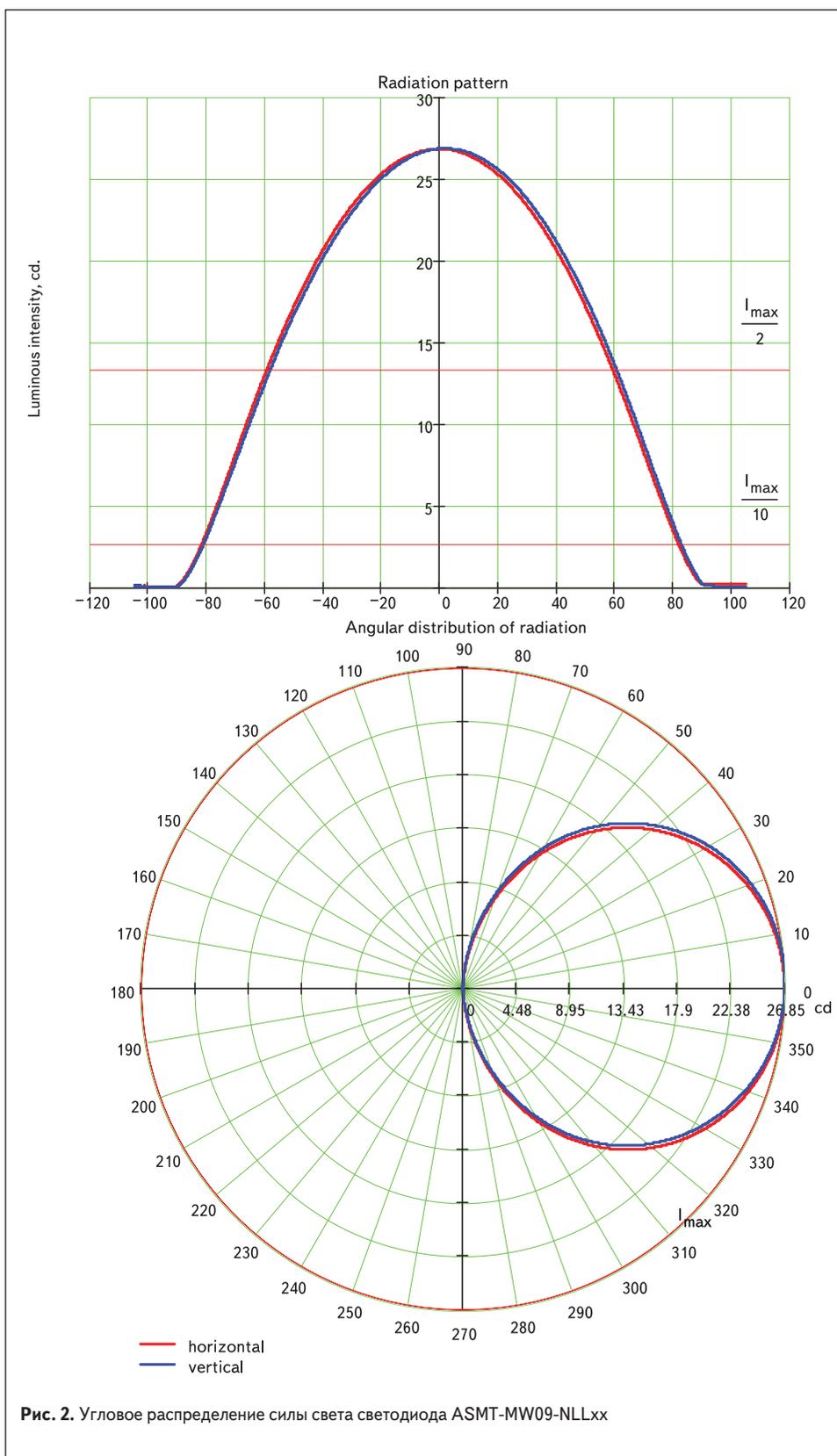


Рис. 2. Угловое распределение силы света светодиода ASMT-MW09-NLLxx

Таблица 1. Основные параметры светодиодов серии ASMT-MW09-NLLxx

Коррелированная цветовая температура, К	Световой поток Φ, лм	Эффективность, лм/Вт	Оптическая мощность, Вт
7546	82	77	0,258
6200	80	76	0,235
4943	66	65	0,178

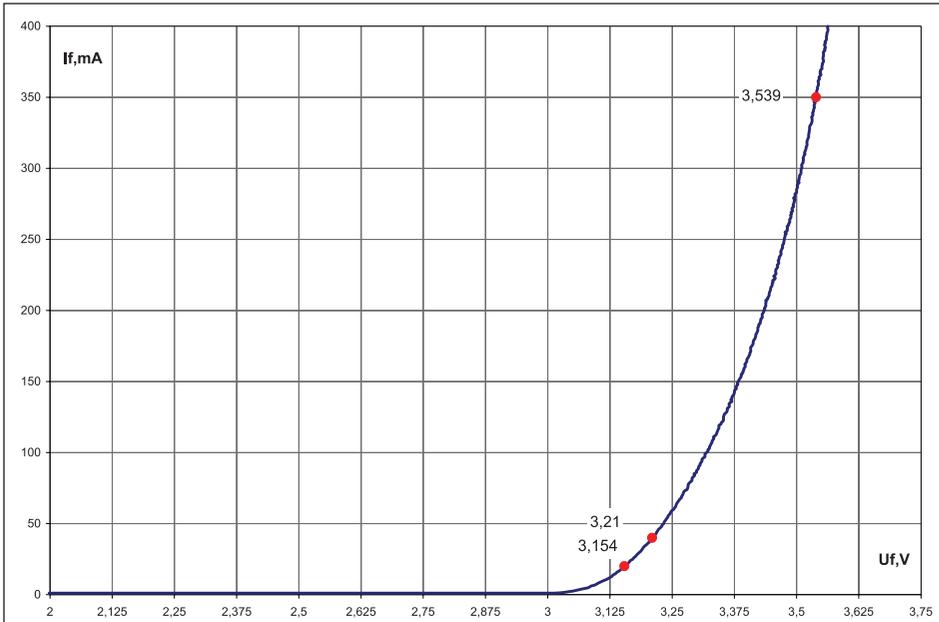


Рис. 3. Прямая вольт-амперная характеристика светодиода ASMT-MW09-NLLxx

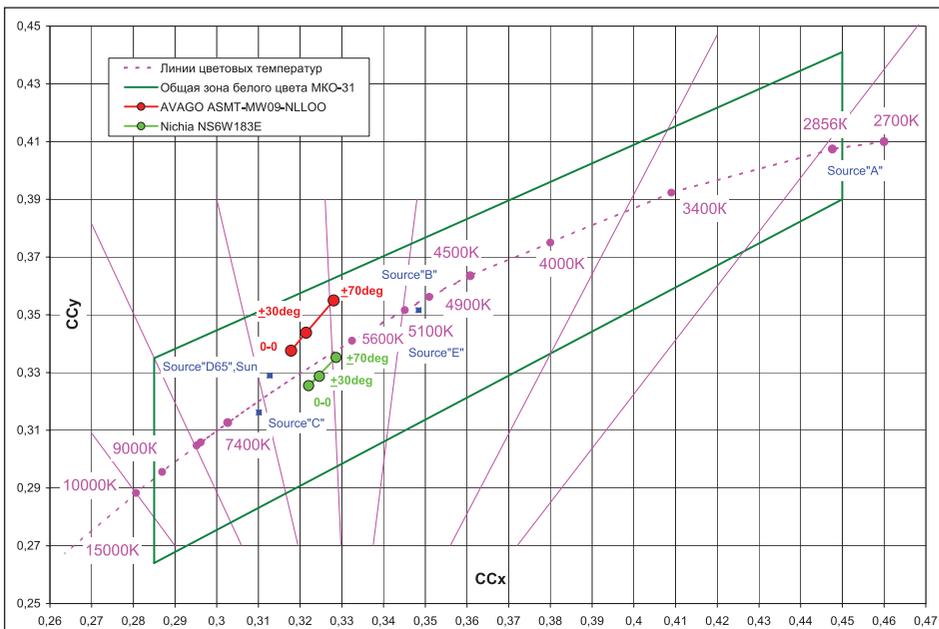


Рис. 4. Положение координат цветности светодиодов на цветовом графике МКО-31 в области белого

доли желтых и красных составляющих спектра излучения, что приводит к неизбежному снижению эффективности излучения. Это можно заметить и по поведению оптической мощности уже преобразованного белого из исходного синего излучения. Видно, что при уменьшении цветовой температуры выходная мощность также уменьшается, что является следствием значительных потерь на преобразование в люминофоре, тем самым

снижается и так не самый большой среди аналогов КПД всего устройства: с 24 до 17%. Следует добавить, что подобное положение дел существует у всех производителей белых светодиодов, просто одни сознательно заявляют об этом, информируя своих потребителей, а другие надеются на чудо: отсутствие должного понимания у клиента. В данном случае измеренные параметры оказались даже несколько выше обозначенных в специфика-

ции допусков: регламентированы значения в 54–68 лм/Вт.

Возвращаясь к теме равномерности распределения колориметрических характеристик в зависимости от угла излучения вследствие тех или иных технологических приемов при производстве светодиодов, можно привести соответствующую диаграмму, показанную на рис. 4.

На графике рис. 4 приведены координаты цветности светодиодов ASMT-MW09-NLLxx и Nichia NS6W183E, находящиеся в зависимости от угла излучения. Эти светодиоды имеют одинаковую коррелированную цветовую температуру в области оптической оси и, как можно заметить, сходную зависимость изменения ее значения. Это означает, что на приведенных на диаграмме 80% угла обзора светодиода цветовая температура не изменится более, чем на 400–450 градусов, что действительно мало при начальном значении около 6000 К, и вы едва ли заметите эту разницу, преобразованную в сколько-нибудь заметные отличия в зрительном восприятии оттенка белого. Уверенность в этом утверждении еще больше возрастает, если иметь в виду, что сравнение ведется со всемирно признанным лидером в производстве самых качественных светодиодов. Чего совсем нельзя сказать, например, про сопоставление со светодиодами CREE, описанное в [1], где говорится об изменении цветовой температуры в несколько тысяч градусов, правда, в них присутствует оптика, усугубляющая этот дефект.

Подводя итог рассуждениям и описаниям результатов исследований, можно с уверенностью сказать, что представленный Avago Technologies продукт Moonstone, работающий в составе какого-либо устройства освещения, благодаря своим характеристикам, вероятно, сможет расположить пользователей к романтическому настроению, как и следует из его названия.

### Мал, да удал

Наряду с попытками значительного увеличения выходной мощности излучения белого светодиода в одном корпусе наступает осознание давно предопределенного эффекта, когда повышение плотности тока через кристалл в обычных пользовательских условиях не приводит к пропорциональному увеличению светового потока. Более того, световая эффективность снижается до неприемлемых величин, резко увеличивается деградация, изменяются колориметрические характеристики. Поэтому заявление о нормальном функционировании светодиода с током до 1 А всегда вызывает как минимум некоторое сомнение. Один из очень действенных путей повышения световой эффективности устройств освещения на светодиодах

Таблица 2. Основные параметры светодиодов серии ASMT-QWBB-Nxx и их аналога

Светодиод	Коррелированная цветовая температура, К	Световой поток Ф, лм	Эффективность, лм/Вт	Прямой ток If, mA	Потребляемая мощность, Вт
AVAGO ASMT-QWBB	8700	24	48	150	0,504
OSRAM LWG6CP	5500	19	43	140	0,44

сегодня — это, как ни парадоксально звучит, уход к меньшим значениям тока, дискретизации крупных элементов. При меньших плотностях тока через кристалл существенно увеличивается эффективность излучения (квантовый выход), стремясь к максимуму при самых малых токах (пороговых значениях внешнего приложенного электрического поля для данной ширины запрещенной зоны, с которых начинается инжекция неосновных носителей заряда в активную область). А если быть точным, то теоретически она может достигать практически 100%-ного значения при идеальном качестве выращенной гетероструктуры.

Применительно к мощным светодиодам, исследование зависимостей этого параметра описано в [1, 2, 3]. Однако это не единственный положительный момент дискретизации: при прочих равных условиях два отдельно, хотя и рядом установленных полуваттных светодиода всегда будут в гораздо более выгодных температурных условиях, чем один одноваттный из-за рассредоточения тепловой нагрузки по площади общего радиатора. Отсюда возникло повышенное внимание к светодиодам со средней мощностью, а также на рынке появилось больше кристаллов соответствующего класса. Представителем такой серии является линейка светодиодов белого свечения от Avago Technologies — ASMT-QWBB-Nxx, внешний вид которых показан на рис. 5.

Как и их одноваттные собратья, эти приборы имеют косинусную диаграмму с общим углом излучения в 120 градусов по уровню  $0,5I_{\text{max}}$ . Если принять во внимание, что наибольшая световая эффективность достигается при сравнительно высоких цветовых температурах, то максимальные параметры светового потока можно оценить у светодиодов соответствующих ранков. При сравнении с приборами одного класса значения некоторых параметров, полученные при исследованиях, приведены в таблице 2.

Ранки по оттенку белого заменены значением коррелированной цветовой температуры.

В номенклатуре аналогов от OSRAM не оказалось приборов с цветовой температурой выше 5500 К, поэтому приведенное сравнение не содержит одинакового условия, да и требования к значению прямого тока разные. Однако, несмотря на это, вполне можно сопоставить полученные световые потоки и световые эффективности и, проведя параллель с зависимостями, описанными в предыдущей главе, спрогнозировать результат и при разных цветовых температурах. Оценочные расчеты покажут, что основные фотометрические параметры будут практически равны, с преимуществом у светодиодов OSRAM.

Как можно было заметить, в приведенных результатах умышленно опущена экономическая сторона сравнений: обсуждалась только техническая. Таким образом, комплексный вопрос применения того или иного типа светодиода, с одной стороны, остался для дальнейшего обсуждения, а с другой — с той, для чего и был разработан этот светодиод — для работы в светотехническом устройстве, — подкреплен исследованиями и измерениями. ●

## Литература

1. Никифоров С. Г. Исследование параметров семейства светодиодов CREE XLamp // Компоненты и технологии. 2006. № 11.
2. Никифоров С. Г., Архипов А. Л. Особенности определения квантового выхода светодиодов на основе AlGaInN и AlGaInP при различной плотности тока через излучающий кристалл // Компоненты и технологии. 2008. № 1.
3. Абрамов В. С., Никифоров С. Г., Сушков В. П., Шишов А. В. Особенности конструирования мощных белых светодиодов // Светодиоды и лазеры. 2003. № 1–2.

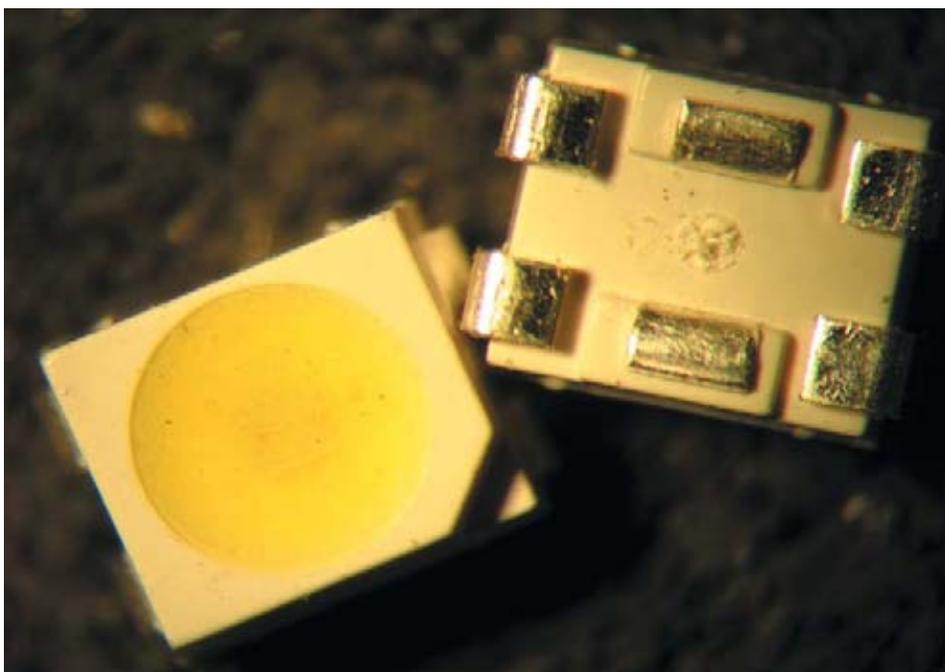


Рис. 5. Внешний вид светодиодов от Avago Technologies — ASMT-QWBB-Nxx