

Введение

В наше время повысился интерес к созданию твердотельных источников света на основе светодиодов. Световая эффективность полупроводниковых излучателей уже достигла 100 люмен на ватт. Вместе с тем, стремление к дальнейшему повышению выхода светового потока неизбежно приводит к увеличению прямого тока через кристалл полупроводника, и как следствие, увеличению тепловыделения. Данные исследований говорят о том, что примерно 65~85 % электроэнергии при работе светодиода уходит в тепло. При неправильном тепловом расчете устройства излишек тепла повышает температуру активной области кристалла, что приводит к уменьшению максимального оптического выхода и ограничивает срок службы светодиода. К тому же полимер, из которого изготовлен корпус светодиода, нельзя нагревать свыше определенного предела – деформация колбы может привести к обрыву токовода. Понятно, что температура кристалла, находящегося внутри полимерной колбы, не должна превышать некоего значения в определенном интервале времени. Если не принять должных мер по отводу излишнего тепла, то все вышеперечисленные неприятные последствия неизбежно скажутся. Именно поэтому многие производители не решаются на серийный выпуск светодиодов с рассеиваемой мощностью более 3~5 ватт.

Фирма **COTCO ltd** разработала и начала серийно производить одноваттные светодиоды под запатентованной торговой маркой **DORADO™**. Основная особенность светодиодов «DORADO» - исполнение для поверхностного монтажа в корпусе QFN размером 7*7 мм. Уникальный способ крепления кристалла на теплоотводе позволяет эффективно передавать тепло от р-п перехода к печатной плате или радиатору, позволяя светодиоду работать в оптимальном режиме. Выпускаются и мини-«DORADO» в корпусе QFN 3*3 мм с рассеиваемой мощностью 0,3 вт. На фото (рис.1) показаны два типа «DORADO» рядом с обычным светодиодом в корпусе P4 размером 7,6*7,6 мм.

Предлагаемый ниже материал предназначен для изучения основных тепловых свойств мощных светодиодов «DORADO».

Рассмотрим внутреннее устройство светодиода «DORADO». Кристалл приклеен токопроводящим клеем с высокой теплопроводностью к медной подложке относительно больших размеров. Оптическая линза из полимера защищает конструкцию от внешних воздействий и формирует световой поток. Рисунок 2 поясняет модель теплового сопротивления для «DORADO», припаянного на печатную плату из фольгированного алюминия (Al PCB).



Рис.1

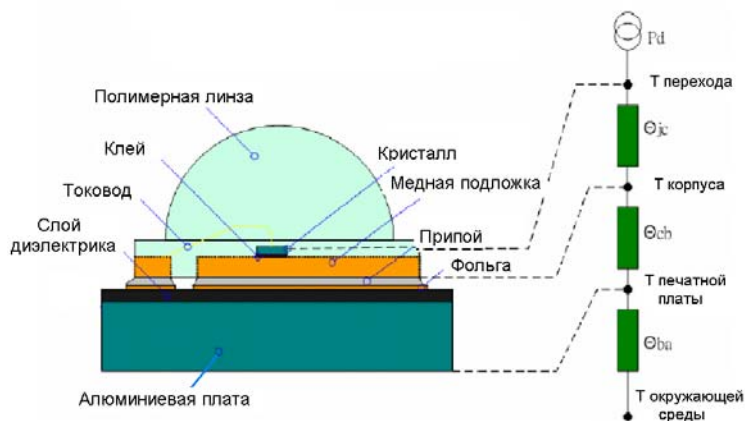


Рис.2

Можно сравнить особенности конструктивного исполнения светодиодов «LUXEON» и «DORADO», и способы их монтажа на печатную плату (Рис.3). Видно, что «LUXEON» припаян за ленточные выводы и требует установки на теплоотводящую пасту, в отличие от «DORADO», весь корпус которого припаявается на печатную плату.



Рис.3.

Мощность, рассеиваемая на светодиоде, прямо пропорциональна прямому напряжению и прямому току через светодиод.

$$P_D = I_F * V_F$$

где

P_D = Рассеиваемая мощность

I_F = Прямой ток

V_F = Прямое напряжение

Рассеиваемая мощность повышает температуру кристалла. Если температура перехода становится выше оговоренной в технической документации (DATASHEET), светодиод может быть поврежден. Температура p-n перехода рассчитывается следующим образом:

$$T_J = T_a + P_D (\theta_{jc} + \theta_{ca})$$

где

T_J = температура p-n перехода

T_a = температура окружающей среды

θ_{jc} = тепловое сопротивление между p-n переходом и корпусом

θ_{ca} = тепловое сопротивление между корпусом и окружающей средой.

Тепловое сопротивление определяется как отношение разности температур к соответствующему рассеянию мощности. Рассчитать температуру p-n перехода при конкретном тепловом сопротивлении θ_{ja} можно с помощью следующих уравнений:

$$T_J - T_a = P_D * (\theta_{jc} + \theta_{cb} + \theta_{ba})$$

$$T_{ja} = P_D * \theta_{ja}$$

Где

$T_{ja} = T_J - T_a$ (разница между температурой p-n перехода и температурой окружающей среды)

и

$$\theta_{ja} = \theta_{jc} + \theta_{cb} + \theta_{ba}$$

или

$\theta_{ja} = \theta_{jc} + \theta_{ca}$ (тепловое сопротивление между p-n переходом и окружающей средой)

Для количества светодиодов, больше одного

$$\theta_{ja} = (\theta_{jc}/n) + \theta_{ca}$$

где n – количество светодиодов на одной плате

При тепловом расчете проектируемого устройства многие параметры можно найти в технической документации. Важнейший из этих параметров – это температура перехода, которая не должна превышать установленного максимального значения. Параметры белого «DORADO» LD-700DWN6-70 приведены в таблице 1.

| | | |
|------------------------------------|--|---------|
| Junction temperature T_{jmax} | Максимально допустимая температура p-n перехода | 125°C |
| Junction temperature T_j | Рекомендуемая температура p-n перехода | 110°C |
| Junction-to-ambiente θ_{ja} | Тепловое сопротивление между p-n переходом и окружающей средой | 45°C/Вт |
| Junction-to-case θ_{jc} | Тепловое сопротивление между p-n переходом и корпусом светодиода | 15°C/Вт |
| Таблица 1. | | |

Примечание: Данные приведены при установке светодиода на Al PCB пластину размером 20*20*2 мм.

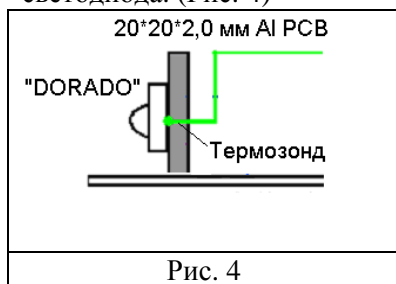
При оптимизации теплоотвода значения θ_{jc} и θ_{ja} уменьшатся.

К числу факторов, влияющих на тепловой режим, можно отнести величину прямого тока через светодиод, температуру окружающей среды, материала печатной платы и радиатора. При проектировании на уровне устройства тепловые сопротивления между корпусом светодиода и печатной платой, печатной платой и окружающей средой должны быть рассчитаны дополнительно.

Тепловой расчет

Для понимания влияния температуры окружающей среды и теплового сопротивления материалов, используемых для печатной платы, в лаборатории COTCO ltd были исследованы светодиоды «DORADO», припаянные на плату Al PCB размером 20*20*2 мм. Температура корпуса измерялась с помощью

термозонда, введенного сквозь отверстие диаметром 1 мм в плате под медным основанием корпуса светодиода. (Рис. 4)

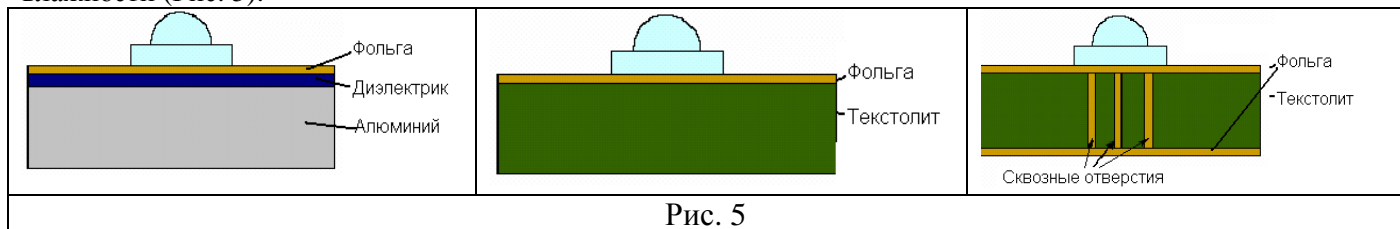


Через 30 минут после включения питания была проведено измерение температуры корпуса. Данные измерений приведены в таблице 2.

| Модель «DORADO» | If (мА) | Vf (В) | P _D , Вт. | T _a (°C) | T _c (°C) | T _j (°C) | θ _{Jc} (°C/Вт) |
|-----------------|---------|--------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|
| LD-700AWN1-70 | 350 | 3.6 | 1.26 | 25 | 77 | 88 | 9 |
| LD-700ABL1-E0 | 300 | 3.6 | 1.08 | 25 | 70 | 81 | 10 |
| LD-700APG1-E0 | 300 | 3.6 | 1.08 | 25 | 72 | 83 | 10 |
| LD-701CHR1-A5 | 450 | 2.4 | 1.08 | 24 | 68 | 82 | 13 |
| LD-701CYL1-A5 | 450 | 2.4 | 1.08 | 24 | 70 | 84 | 13 |

Таблица 2.

Наряду с радиатором из Al PCB были исследованы и другие виды печатных плат размером 20*20 мм из фольгированного стеклотекстолита FR4, и из двустороннего стеклотекстолита с просверленными дополнительными сквозными металлизированными отверстиями диаметром 0,4 мм. При пайке «DORADO» эти отверстия заполняет припой. На этих платах не установлены никакие другие компоненты, излучающие тепло во время работы. Эксперимент проводился при температуре окружающей среды 25 °C и нормальной влажности (Рис. 5).



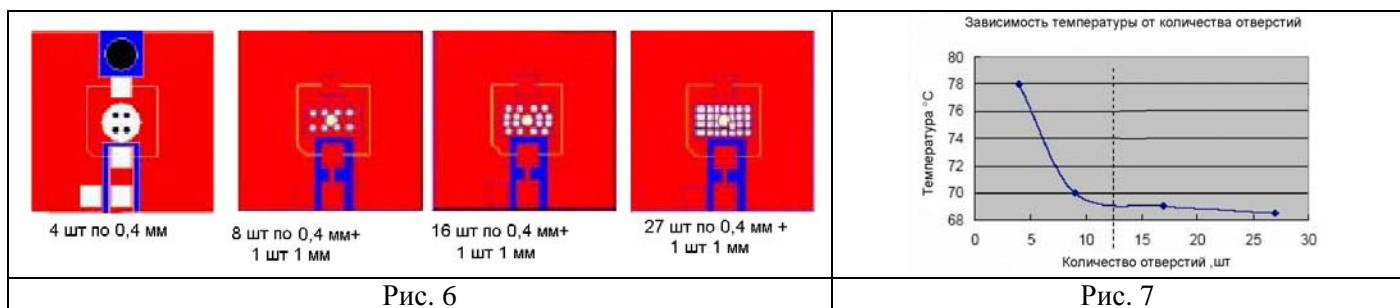
Спустя 30 минут после подачи питания радиатор из Al PCB имел более низкую температуру, чем печатная плата из фольгированного стеклотекстолита FR4, так как у него более низкое тепловое сопротивление, что позволяет отдать большее количество тепла в окружающую среду.

Однако печатная плата из двустороннего фольгированного стеклотекстолита за счет наличия дополнительных металлизированных отверстий имеет тепловые характеристики даже лучше, чем у фольгированного алюминия (Табл. 3).

| Материал платы | Измеренная температура | θ _{ba} (тепловое сопротивление между платой и окружающей средой) |
|-----------------------------------|------------------------|---|
| Стеклотекстолит FR4 | 84.8 °C | 59.8 °C/Вт |
| Al PCB | 76.6 °C | 51.6 °C/Вт |
| Стеклотекстолит FR4 с отверстиями | 75.5 °C | 50.5 °C/Вт |

Таблица 3

При увеличении количества отверстий теплопроводность платы из фольгированного стеклотекстолита FR4 еще более увеличивается (рис 6,7) .



Размеры платы и расположение в пространстве.

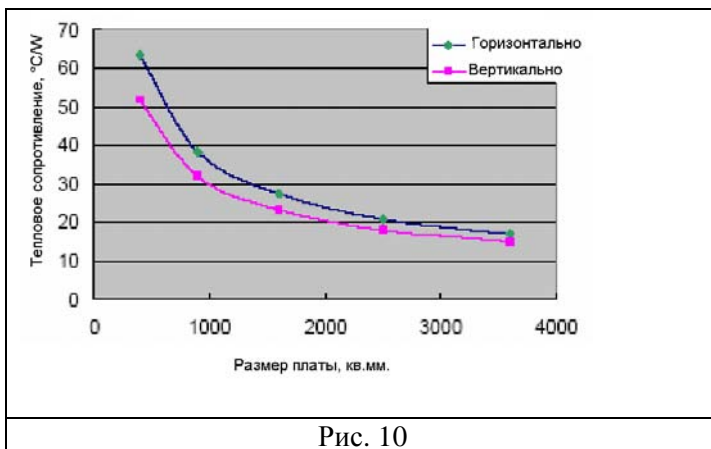
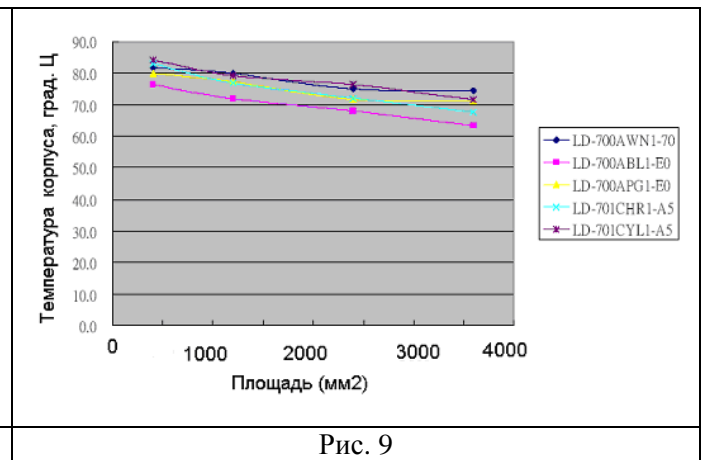
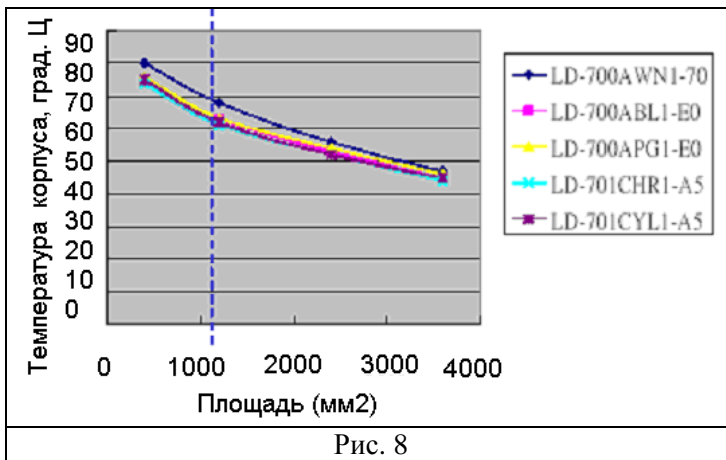
Размеры, материал печатной платы и расположение ее в пространстве тоже влияют на величину теплового сопротивления светодиод -окружающая среда. Было проведено экспериментальное исследование для изучения этих параметров. Замерялась температура корпуса после работы светодиода в течение 30 минут. Данные исследований сведены в таблицах 4,5.

| Плата из Al PCB | | | | | If (mA) |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|
| Размеры, мм | 60x60x1.8 | 60x40x1.8 | 60x20x1.8 | 20x20x1.8 | |
| Объем (мм ³) | 6480 | 4320 | 2160 | 720 | |
| Площадь (мм ²) | 3600 | 2400 | 1200 | 400 | |
| LD-700AWN1-70 | 47 | 56 | 68 | 80 | |
| LD-700ABL1-E0 | 45 | 53 | 63 | 75 | 300 |
| LD-700APG1-E0 | 46 | 54 | 63 | 76 | 300 |
| LD-701CHR1-A5 | 44 | 52 | 61 | 74 | 450 |
| LD-701CYL1-A5 | 45 | 52 | 62 | 75 | 450 |

Таблица 4

| Плата из двустороннего текстолита FR4 с 4 отверстиями. | | | | | If (mA) |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|
| Размеры, мм | 60x60x1.8 | 60x40x1.8 | 60x20x1.8 | 20x20x1.8 | |
| Объем (мм ³) | 6480 | 4320 | 2160 | 720 | |
| Площадь (мм ²) | 3600 | 2400 | 1200 | 400 | |
| LD-700AWN1-70 | 74 | 75 | 79,8 | 81,7 | |
| LD-700ABL1-E0 | 63,4 | 68,1 | 72 | 76,5 | 300 |
| LD-700APG1-E0 | 71,2 | 71,5 | 77,3 | 79,8 | 300 |
| LD-701CHR1-A5 | 67,6 | 72,1 | 76,8 | 82,9 | 450 |
| LD-701CYL1-A5 | 71,6 | 76,3 | 79,2 | 84,1 | 450 |

Таблица 5



Графики на рисунках 8 и 9 иллюстрирует таблицу 4 и 5, а график на рис. 10 иллюстрирует зависимость теплового сопротивления плат различного размера из фольгированного алюминия при разной ориентации в пространстве. При вертикальном размещении отвод тепла в условиях естественной конвекции будет лучше, чем при горизонтальном. Используя этот же график можно рассчитать необходимую площадь платы для достижения необходимого теплового сопротивления.

Приведем **конкретный пример** расчета теплового сопротивления печатной платы на открытом воздухе.

Расчетные параметры:

| | | |
|--|---------|---|
| T_a =температура окружающей среды (макс) | 40°C | Предположительно |
| T_J =температура р-п перехода | 110°C | Рекомендуемые данные из технической документации. |
| θ_{jc} =тепловое сопротивление между р-п переходом и корпусом | 15°C/Вт | Согласно данных из технической документации. |
| I_F = Прямой ток | 0,25А | Значение при данном расчете |
| V_F = Прямое напряжение | 3,8 В. | Согласно данных из технической документации |
| Количество светодиодов, шт. | 1 или 4 | |
| θ_{cb} =тепловое сопротивление припоя между корпусом и печатной платой. | 3°C/Вт | Значение при данном расчете |
| Таблица 6 | | |

Расчет:

Рассеиваемая мощность на светодиоде $P_D = V_F * I_F = 0,95$ Вт.

$$\theta_{Ja} = (T_J - T_A) / P_D = 73,7^\circ\text{C}/\text{Вт}$$

$$\theta_{JB} \text{ светодиода} = \theta_{Jc} + \theta_{cb} = 18^\circ\text{C}/\text{Вт}$$

$$\theta_{BA} \text{ печатной платы} = \theta_{Ja} - \theta_{JB} = 55,7^\circ\text{C}/\text{Вт}$$

По графику видно, что такое тепловое сопротивление обеспечит плата Al PCB размером примерно 400 кв. мм.

Расчет для сборки светодиодов из 4 штук.

Рассеиваемая мощность на светодиодах $P_D = 4 * (V_F * I_F) = 3,8$ Вт.

$$\theta_{Ja} = (T_J - T_A) / P_D = 18,4^\circ\text{C}/\text{Вт}$$

$$\theta_{JB} \text{ светодиода} = \theta_{Jc} + \theta_{cb} = 18^\circ\text{C}/\text{Вт}$$

$$\theta_{JB} \text{ сборки светодиодов} = \theta_{JB} / 4 \text{ шт} = 4,5^\circ\text{C}/\text{Вт}$$

$$\theta_{BA} \text{ печатной платы} = \theta_{Ja} - \theta_{JB} = 13,9^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Для нормальной работы такой сборки мы должны использовать плату площадью более 3500 кв. мм или подобрать дополнительный радиатор с соответствующими тепловыми характеристиками.

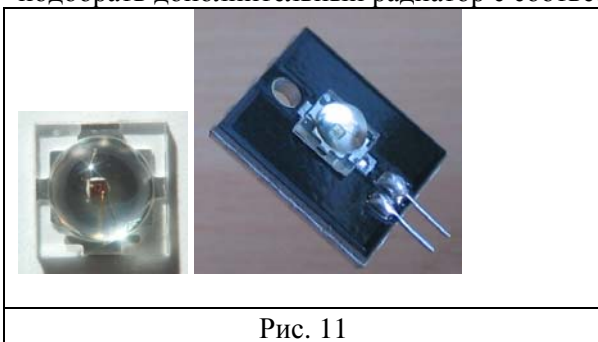


Рис. 11

В продажу поступают «DORADO» на ленте и россыпью, уже смонтированные на Al PCB радиаторах 20*20 мм (Рис. 11) Нам часто задают вопрос, – при какой максимальной температуре окружающей среды могут работать светодиоды на Al PCB?

Расчеты для синего «DORADO» показывают следующее:

$$T_a = T_j - P_D * (\theta_{jc} + \theta_{ca}) = 110^\circ\text{C} - 1.08 * (10 + 51.6) = 43,5^\circ\text{C}$$

При температуре перехода 125°C температура окружающей среды допускается 58,5 °C – это предельное значение.

Применение радиатора.

Использование дополнительного радиатора – более эффективный метод, чем увеличение размера платы. С его помощью можно значительно уменьшить температуру корпуса светодиода. Были проведены экспериментальные исследования двух видов алюминиевых радиаторов (рис.12), размерами 28x18x8мм и 38x38x6мм. Данные приведены в таблице 7.

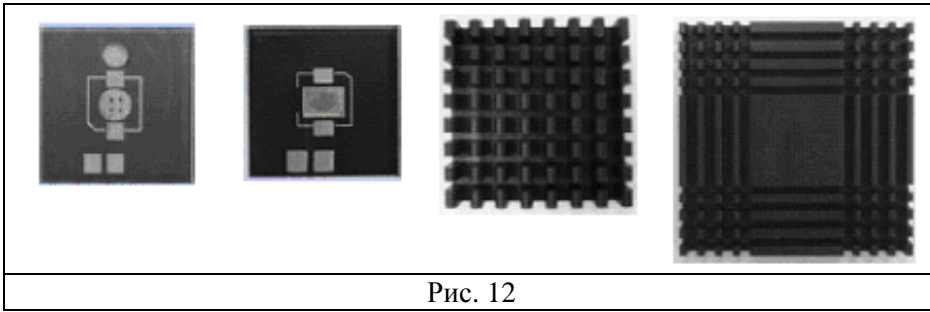


Рис. 12

| Материал платы 20*20 мм | FR4 | Al PCB | Al PCB | Al PCB | Al PCB |
|-----------------------------------|--|--------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Теплопроводящий материал | ... | ... | Прокладка фирмы 3М | Теплопроводная паста | Теплопроводная паста |
| Радиатор | ... | ... | Алюминиевый 28x18x8мм | Алюминиевый 28x28x8мм | Алюминиевый 38x38x6мм |
| I_f(мА) | Температура корпуса светодиода (°C) | | | | |
| 100 | 37 | 37 | 35 | 34 | 32 |
| 150 | 47 | 47 | 44 | 40 | 37 |
| 200 | 56 | 55 | 50 | 44 | 42 |
| 250 | 64 | 62 | 58 | 50 | 47 |
| 300 | 73 | 70 | 66 | 55 | 51 |
| 350 | 82 | 79 | 73 | 61 | 56 |
| 400 | 89 | 85 | 80 | 66 | 60 |
| 450 | 98 | 92 | 86 | 71 | 63 |
| θ_{ca} (°C/Вт) при 350 мА. | 52 | 49 | 44 | 33 | 29 |

Таблица 7

Влияние температуры окружающей среды

При увеличении температуры окружающей среды увеличивается и температура печатной платы с установленным на ней светодиодом. Чтобы компенсировать рост температуры корпуса светодиода, необходимо увеличить размер печатной платы и/или размер радиатора, что часто бывает затруднительно из-за ограничений в размере корпуса готового устройства. Возможно, придется поступиться некоторыми светотехническими параметрами при поиске компромисса в решении данной задачи. При этом необходимо учитывать, что пиковая длина волны может изменяться примерно на 0.1 нм на каждый градус C изменения относительно комнатной температуры (25°C). Графики на рисунках 13-16 показывают изменение длины волны на красном, желтом, зеленом и синем светодиоде соответственно, а график на рис.17 – на белом светодиоде. Видно, что с нагревом свечение будет казаться голубым.

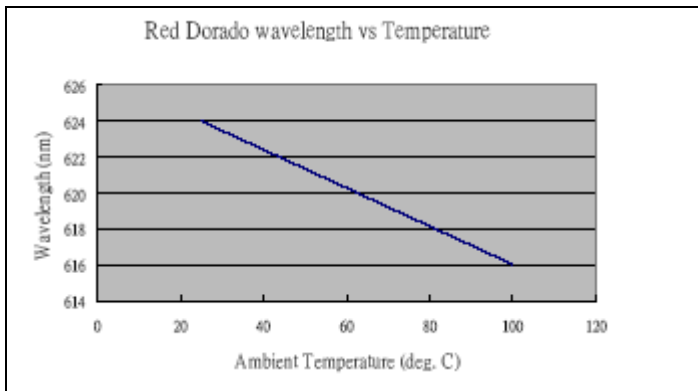


Рис. 13

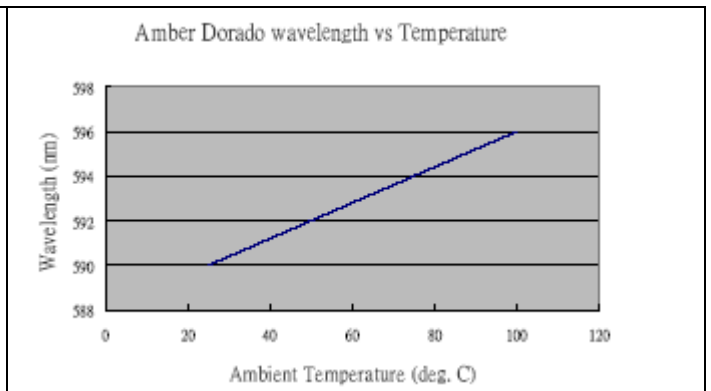


Рис. 14

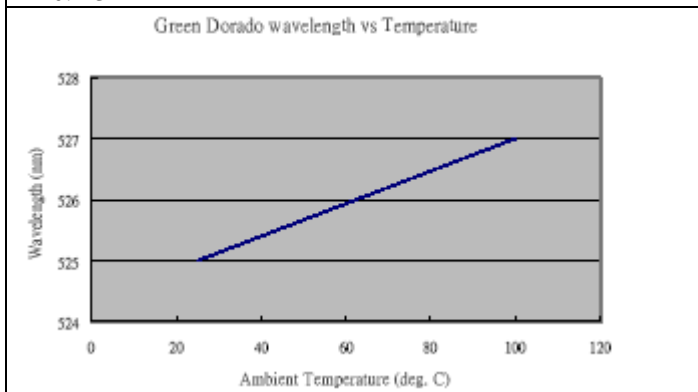


Рис. 15

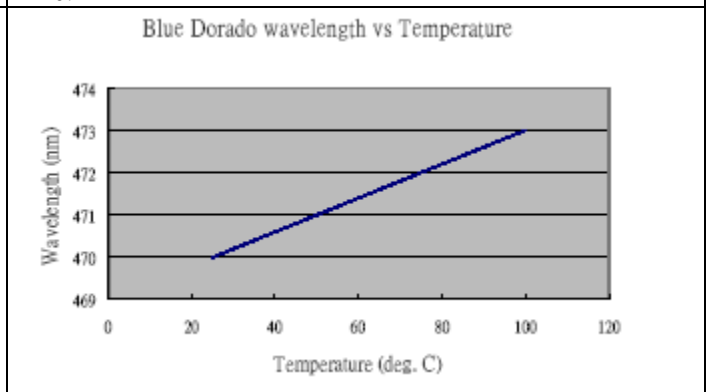


Рис. 16

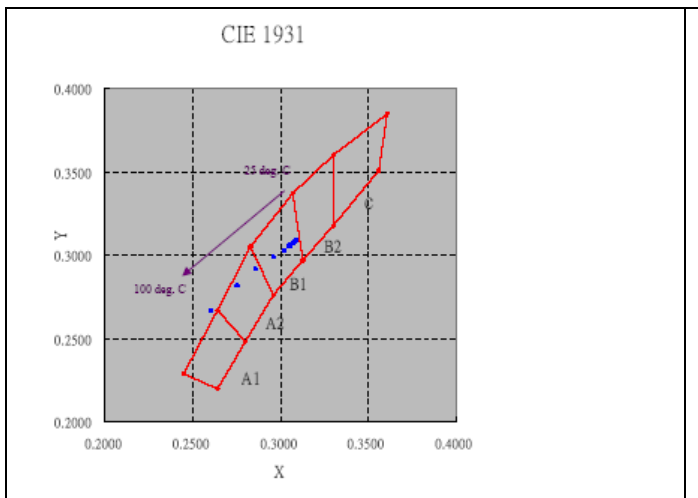


Рис. 17

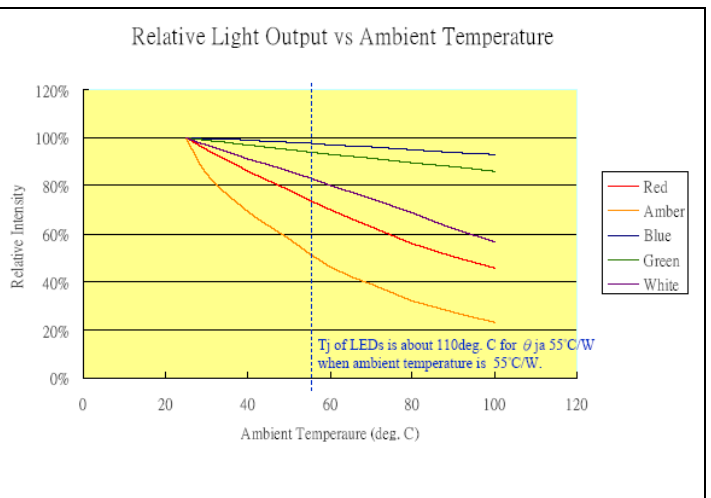


Рис. 18

Световой поток также меняется в значительных пределах (рис.18).

Необходимо предусмотреть уменьшение прямого тока через светодиод, если невозможно снизить тепловое сопротивление при повышении температуры окружающей среды.

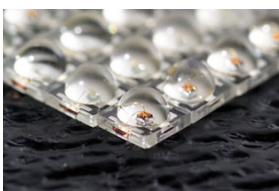


Рис. 19

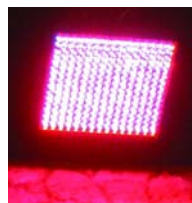


Рис. 20

В заключении еще раз обращаем внимание разработчика на важность анализа теплового режима работы мощных светодиодов. Приведенные выше примеры упрощены для облегчения понимания основных принципов расчетов тепловых режимов. Благодаря малым размерам корпуса, использованию кристаллов и технологий американской фирмы CREE мощные светодиоды «DORADO» производства **COTCO ltd** – это надежное и эффективное решение, когда требуется обеспечить работу сборки светодиодов, расположенных рядом в небольшом пространстве (рис.19,20).

Были использованы материалы с сайтов

www.cotco.com

www.marktechopto.com

www.cree.com