

ИССЛЕДОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ДИОДНЫХ ЛАЗЕРОВ С НЕСКОЛЬКИМИ ОДИНОЧНЫМИ ИЗЛУЧАТЕЛЯМИ ВЫСОКОГО УРОВНЯ ЯРКОСТИ

Цзин Чжу, Томас Ян, Цуйпэн Чжан, Сяочэнь Цзян, Жуй Лю, Яньянь Гао, Вэйжун Го, Юйхуа Цзян, Ян Лю, Луянь Чжан, Луиза Чэнь, BWT Beijing Ltd., Пекин, КНР

Операции монтажа лазерных кристаллов в лазерные линейки и решетки – сложные и дорогостоящие процессы, которые определяют выходные параметры готовых приборов. Для получения лазерных диодных модулей с высокими оптическими характеристиками и высокой надежностью возникает необходимость в проведении ускоренных испытаний на долговечность. Представлены результаты испытаний лазерных модулей из различных кристаллов. Показано, что при оптимальном монтаже удается создавать модули со стабилизированной длиной волны. Достигнуть значения показателя наработки на отказ 177710 часов с доверительным интервалом 60%.

1. ВВЕДЕНИЕ

Благодаря хорошему качеству луча и гибкости использования в работе, мощные диодные лазеры с оптоволоконной связью нашли широкое применение в промышленности, в военной и медицинской областях, технологии печати и в сфере обработки материалов [1]. Ввиду растущего в последние годы объема исследований эффективность работы мощных диодных лазеров резко повысилась. В настоящее время лазеры в виде линейки или решетки диодов могут вырабатывать излучение до сотни ватт выходной мощности. В некоторых отдельных прикладных приложениях существует необходимость использовать лазеры, непрерывно работающие на протяжении нескольких лет или даже десятилетий. То есть существует потребность в использовании диодных лазеров с высокой выходной мощностью, но при этом возникает необходимость поддерживать охлаждение таких диодных лазеров для обеспечения высокой надежности их работы.

Исследования способов крепления кристаллов на подложке стали необходимы при создании приборов с высокими характеристиками. Для поиска оптимального крепления были исследованы различные кристаллы, полученные от разных мировых поставщиков. С помощью подбора оптимальной схемы охлаждения, усовершенствования конструкции и технологии корпуса оптической системы была достигнута более высокая надежность работы лазерных модулей с несколькими одиночными излучателями. Степень надежности была подтверждена результатами ускоренных испытаний на долговечность. Это позволяет соз-

дать диодные лазерные модули с длительным сроком службы, не требующие частого технического обслуживания и обладающие высокой степенью надежности.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Предполагая, что механизм отказа является одинаковым для всех видов кристаллов, можно провести ускоренные испытания на долговечность с помощью ускорения наработки на отказ изделий, воздействуя на них повышенными рабочими нагрузками или увеличивая параметры воздействия внешней среды. На основании определенных выводов из результатов испытаний на долговечность можно получить коэффициент надежности и параметры, касающиеся срока службы.

Высокая температура является одним из наиболее распространенных видов нагрузок, которые используются в испытаниях на долговечность. В соответствии со стандартом Telcordia GR468CORE [2] модель Аррениуса описывает влияние температуры на срок службы изделий. Связь между ними показана в уравнении:

$$L = \beta \exp\left(\frac{E_a}{kT}\right), \quad (1)$$

где L – параметр, отображающий срок службы, например, средний срок службы, медианный срок службы и т.п.; β – положительная константа, которая относится к характеристикам и геометрическим формам изделия; E_a – энергия активации, измеряемая в электроновольтах; k – постоянная Больцмана ($8,617 \cdot 10^{-5}$ эВ/К); T – абсолютная

температура в градусах Кельвина; модель Аррениуса показывает, что параметр, описывающий срок службы, экспоненциально снижается при повышении температуры.

На основании уравнения связи Аррениуса можно определить коэффициент ускорения τ_T между сроком службы при температуре T_2 и сроком службы при температуре T_1 :

$$\tau_T = \frac{L_2}{L_1} = \exp\left(\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)\right), \quad (2)$$

где T_1 и T_2 – соответственно температура нормальной работы и температура ускоренного испытания на долговечность; L_1 и L_2 – соответственно срок службы при нормальной работе и срок службы в условиях проведения ускоренного испытания на долговечность. Значение показателя энергии активации E_a обычно предоставляется поставщиком кристалла или это значение берется из результатов ускоренных испытаний на долговечность как минимум для трех различных температур. Исходя из опыта, показатель E_a находится в пределах диапазона 0,41–0,64 эВ; в данном случае значение E_a составляет 0,45 эВ.

При $T_2 > T_1$ температурная нагрузка влияет на надежность работы. Для комнатной температуры 298K и температуры ускоренных испытаний на долговечность 308 K уравнение (2) дает коэффициент ускорения $\tau_T = 1,8$. Другими словами, при каждом повышении температуры на 10K период испытания сокращается почти в половину.

Электрические нагрузки, такие как ток возбуждения и электрическая мощность, могут также применяться в ускоренном испытании на долговечность. Коэффициент ускорения τ_T между сроком службы при мощности P_2 и сроком службы при мощности P_1 следующий:

$$\tau_p = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^n, \quad (3)$$

где P_1 и P_2 – соответственно номинальная мощность диодного лазера и чрезмерно использованная мощность в ускоренном испытании; n – положительная константа, которая относится к энергии активации. Согласно данным, представленным поставщиком кристалла [3], $n = 5,0$.

При повышении мощности на 10% коэффициент ускорения составляет $\tau_T = 1,6$, а время испытания сокращается примерно на 40%. С помощью

испытания, в котором используется повышенная температура и повышенный показатель тока возбуждения, можно выполнить оценку параметра долгосрочной надежности диодного лазера в ограниченном промежутке времени, повышая его продуктивность существенным образом.

3. МЕРЫ ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ

Среди многих важных факторов, влияющих на показатель долгосрочной надежности диодного лазерного модуля, в настоящем исследовании основное внимание было обращено на два фактора: надежность крепления кристаллов и надежность работы лазерных модулей.

3.1. Надежность крепления кристаллов

Для того, чтобы повысить выходную мощность и срок службы диодного лазера, важно обеспечить условия для эффективного рассеяния вырабатываемого тепла с целью снижения тепловой нагрузки, испытываемой кристаллом во время работы лазера. Таким образом, уровень снижения теплового сопротивления на границах кристалла и на контактом электрическом сопротивлении является очень критичным параметром. Особенно важно наличие хорошего контакта между кристаллом и подложкой. Наличие слабого контакта или появление пузырьков воздуха между кристаллом и подложкой, образовавшихся в процессе прикрепления кристалла к подложке, приведет к неисправностям в работе лазера. Таким образом, надежность крепления кристалла оказывает решающее влияние на диодный лазер.

В настоящем исследовании рассмотрены преимущества и недостатки мягкого припоя и твердого припоя. Параметры подложки и параметры крепления оптимизируются соответственно в отношении кристаллов с различными длинами волн и различной выходной мощностью, которые были получены от разных поставщиков. Поскольку в лазерах 8xx стандартно используются подложки из Cu, для прикрепления кристалла в лазере 8xx используется мягкий припой с использованием несоответствием между коэффициентами теплового расширения подложки и кристалла. При соответствующем выборе материала для подложки применяется твердый припой с использованием сплава из золота и олова (AuSn) с целью крепления кристаллов в мощных лазерах 9xx, при этом его преимущества представлены высокой прочностью сварки и хорошей усталостной стойкостью.

Созданы специализированные компоненты для припоя при оптимизации структур подложки и дальнейшей регулировки параметров процесса. Были изучены крепления кристаллов в лазерах с длиной волны от 600 нм до 1550 нм.

Существует четыре основных способа для проверки качества крепления кристаллов на подложке. Первый способ – визуальный осмотр. При этом место соединения припоем проверяется под микроскопом с высокой степенью увеличения для определения состояния припоя (например, является ли припой окисленным). Во-вторых, для проверки быстроты пайки между кристаллом и подложкой могут использоваться инструменты испытаний на сдвиговые напряжения. В-третьих, можно сканировать кристалл на подложке с помощью ультразвуковой установки. При этом для обнаружения износа или наличия пузырьков воздуха проверяется припой. Наконец, мы можем провести испытание оптических и электрических характеристик КНП. Если КНП не спаян надлежащим образом, повышенный уровень теплового сопротивления приведет к сбою работы устройства во время испытаний на отказ или исследований.

Способ оптимизации процесса крепления индием

В испытаниях участвовали 5 образцов КНП с неоптимизированным процессом установки и 5 образцов КНП с оптимизированным процессом

установки. Образцы подвергались воздействию высокой температуры 80°C. Окисление припоя индием в КНП наблюдалось через одну неделю после хранения образцов под воздействием высокой температуры. Припой на образцах с неоптимизированным процессом установки затвердел, при этом выделились частицы, указывающие на возникновение процесса сплавления. А припой на образцах с оптимизированным процессом установки все еще остался мягким, и признаки сплавления отсутствовали. Можно считать, что степень надежности КНП улучшается благодаря оптимизации крепления.

Способ оптимизация процесса соединения AuSn

В припое AuSn используется четыре разных процесса соединения (обозначенных A-D, рис.1). В отношении диодных лазеров, в которых используется крепление разных типов, были проведены измерения с помощью испытания максимального обратного напряжения и испытания на принудительный отказ в течение 96 часов. Во время испытания на принудительный отказ каждые 24 часа измерялись показатели выходной мощности и порогового тока. На рис.1 приведены результаты испытаний.

Рассматривая значения выходной мощности, коэффициента изменения выходной мощности, порогового тока и коэффициента изменения порогового тока, мы обнаружили, что в соедине-

нии типа A достигнуты следующие параметры: самый высокий показатель выходной мощности КНП, самый низкий показатель порогового тока, минимальный коэффициент изменения. Путем оптимизации процесса соединения мы можем добиться увеличения рассеяния тепла КНП, чтобы достигнуть более высокой эффективности работы. Показатели оставались стабильными даже через 96 часов испытания на принудительный отказ.

Способ рассеяние тепла КНП для изделий с высокой тепловой нагрузкой

Стандартные диодные лазеры обладают электрической оптической эффективностью 40-50%; недостатки непрерывно излучающих диодных лазеров на длинах волн 1470 нм или 1550 нм обычно связаны с низкой электрооптической эффективностью и высокой тепловой нагрузкой, их электрооптическая эффективность составляет всего лишь около 20-30%. Мы считаем, что способ крепления кристаллов в длинноволновом диодном излучателе – это интересный объект для исследования и может использоваться для целого ряда изделий компании. Модель процесса рассеяния тепла в кристалле ($\lambda=1470$ нм, кристалл прикреплен на подложке) построена с помощью

метода конечно-разностных элементов в системе ANSYS [4]. Результаты моделирования процесса рассеяния тепла и стандартных испытаний показаны на рис.2.

Кристалл, излучающий на $\lambda=915$ нм с выходной мощностью 12 Вт производит плотность теплового потока 6 Вт/мм². Кристалл, излучающий на $\lambda=1470$ нм с площадью 1,5 мм², имеющих входную мощность 26,6 Вт и выходную мощность 6,0 Вт производит тепловой поток 20,6 Вт, а также обладает электрооптической эффективностью всего лишь 23%. Такой кристалл лазера на $\lambda=1470$ нм производит плотность теплового потока до 13,7 Вт/мм², что почти в два раза больше по сравнению с кристаллом, излучающим на $\lambda=915$ нм. Поэтому соединение кристаллов в длинноволновых диодных лазерах оказывается более сложным процессом, чем соединение кристаллов в лазерах, излучающих на $\lambda=915$ нм. Этот факт послужил причиной того, что в данном исследовании изучались именно диодные лазеры, излучающий на $\lambda=1470$ нм.

Анализ результатов моделирования позволил обнаружить, что тепло, выработанное кристаллом, может быстро рассеяться через припой и подложку. Максимальный рост температуры в кристалле составляет 64°C (со дна подложки тем-

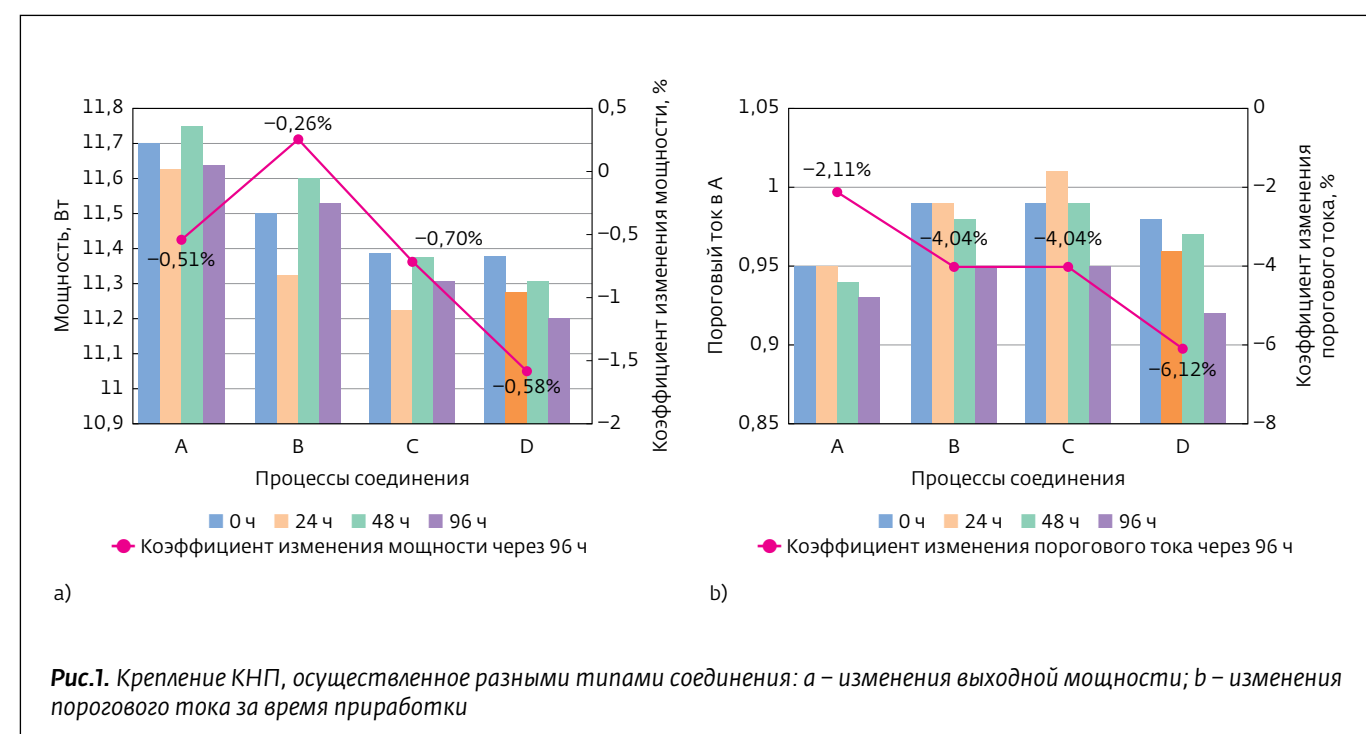


Рис.1. Крепление КНП, осуществленное разными типами соединения: а – изменения выходной мощности; б – изменения порогового тока за время приработки

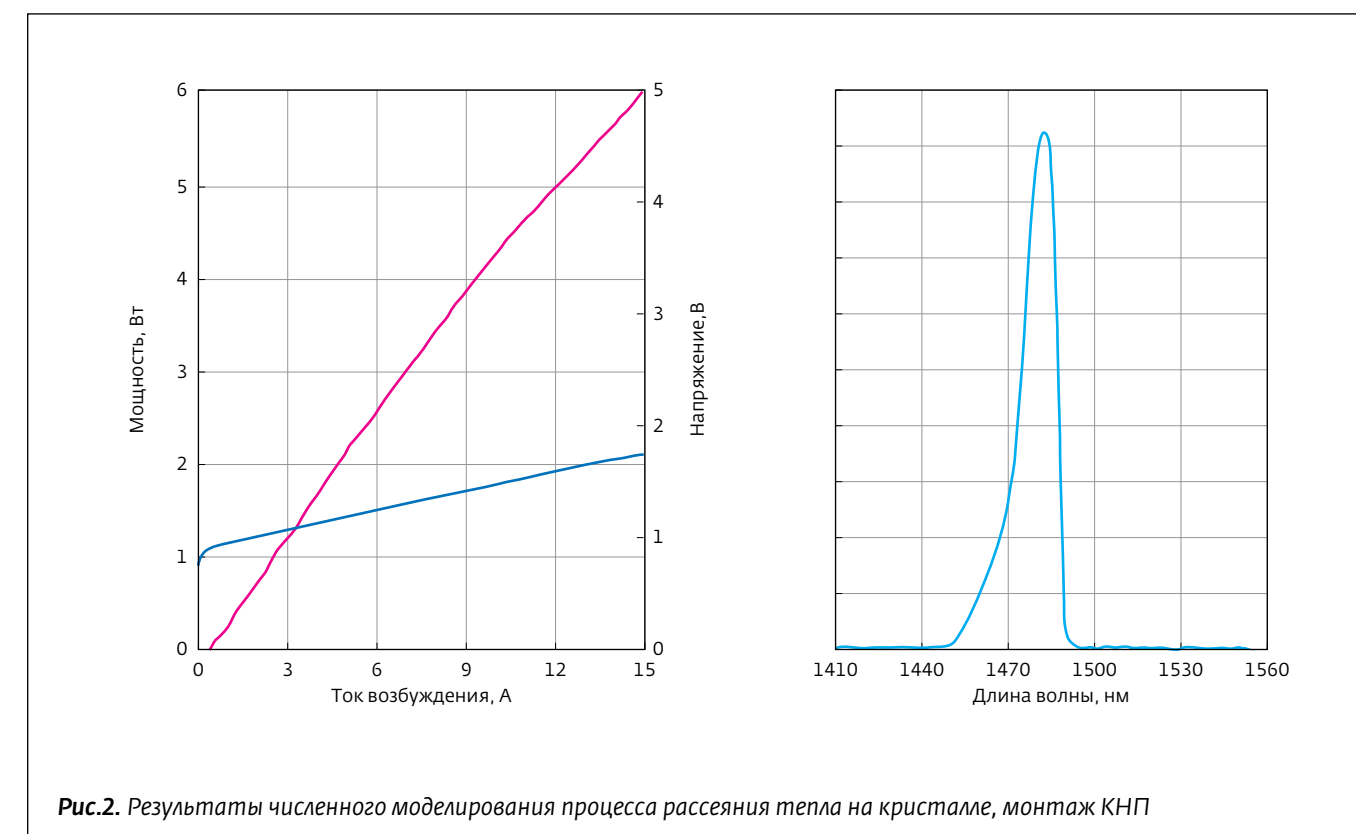


Рис.2. Результаты численного моделирования процесса рассеяния тепла на кристалле, монтаж КНП

пература контролируется до 25°C), а самая высокая температура на лицевой стороне кристалла составляет 89°C. Этот оптимизированный процесс крепления эффективно предотвращает отказ работы кристалла.

Более того, как мы можем увидеть из данных измерений максимального обратного напряжения, выходная мощность почти линейно растет с ростом инжекционного тока без заметной кривизны или теплового загиба. Это еще раз подтверждает, что этот процесс крепления является эффективным для создания диодных лазеров с высоким уровнем надежности.

Испытания на долговечность

Кристаллы различных поставщиков, изготовленные из разных пластинок, прошли ускоренные испытания на долговечность для подтверждения долговременной надежности соединения индия и соединения AuSn. Измеренные значения показателя средней наработки на отказ КНП представлены в табл. 1.

КНП 9xx нм, изготовленные из 5 пластин от двух поставщиков, прошли ускоренные испытания на долговечность под воздействием высокой температуры. Согласно теории ускоренного

старения и теории статистики вероятность при уровне доверительного интервала CL=60% и рабочей температуре 25°C можно получить показатель средней наработки до отказа. Он составил 203896 часов, то есть около 23 лет. Эти результаты испытаний показывают, что соединение между этими кристаллами и подложками было выполнено с высоким качеством. Таким образом, эти КНП могут давать высокий уровень выходной мощности, высокую эффективность, длительный срок службы и хорошую долговременную стабильность работы.

3.2. Надежность работы лазерных модулей с несколькими одиночными излучателями

На основе надежных КНП диодные лазеры с несколькими одиночными излучателями могут быть помещены, а затем соединены с волокном 105 мкм для достижения высокого уровня яркости и большой мощности. Поскольку диаметр сердцевины волокна ограничен, даже незначительное смещение и деформация компонентов в соединительной оптической системе могут непосредственно повлиять на эффективность соединения, таким образом увеличивая

потери и снижая выходную мощность. Следовательно, оценка стабильности работы диодных лазеров с несколькими одиночными излучателями является важной частью оценки степени их надежности.

Изменение рабочей температуры приводит к возникновению смещений и деформаций оптических компонентов и оптического пути, а это влияет на выходную мощность лазера. Ста-

бильность оптических элементов, а также качество соединения могут быть оценены с помощью измерения выходной мощности в зависимости от температуры, изменяющейся в диапазоне от -5 °C до 70°C. Было проведено сравнение по выходной мощности и спектру диодного лазера, состоящего из нескольких одиночных излучателей (компания BWT Beijing Ltd.) и двух диодных лазеров с мощностью такого же уровня

Таблица 1. (а) Результаты испытаний долговечности соединения КНП с помощью индия

Группа испытаний на срок службы	Описание	Размер образца	Отказ	Мин. время испытания (ч)	Макс. время испытания (ч)	Устройство испытания (ч)	Устройство общего ускорения (ч)	Ток испытания долговечности	Температура испытания долговечности	Наработка на отказ
1	830 нм 1,2 Вт	32	0	2064	2064	66 048	189 610	1,4	50	206 931
2	808 нм 10,0 Вт	30	0	1 500	1 500	45 000	135 496	10,7	45	147 875

Группа испытаний на срок службы	Поставщик №	Длина волны при 12 Вт	Пластина №	Размер образца	Отказ	Мин. время испытания (ч)	Макс. время испытания (ч)	Устройство испытания (ч)	Устройство общего ускорения (ч)	Ток испытания долговечности	Температура испытания долговечности	Наработка на отказ
3	01	915 нм	1	18	1	818	2006	35 290	81 706	12,5	40	40 402
4	01	915 нм	2	18	1	1 652	3 656	64 156	144 539	12,5	40	73 450
5	01	915 нм	3	18	0	3 656	3 656	65 808	152 364	12,5	40	166 283
6	02	976 нм	1	24	0	1 992	1 992	47 808	110 689	13,0	40	120 801
7	02	940 нм	2	24	0	1 992	1 992	47 808	143 878	13,0	45	157 022
Всего				102	2			260 870	633 176			203 896

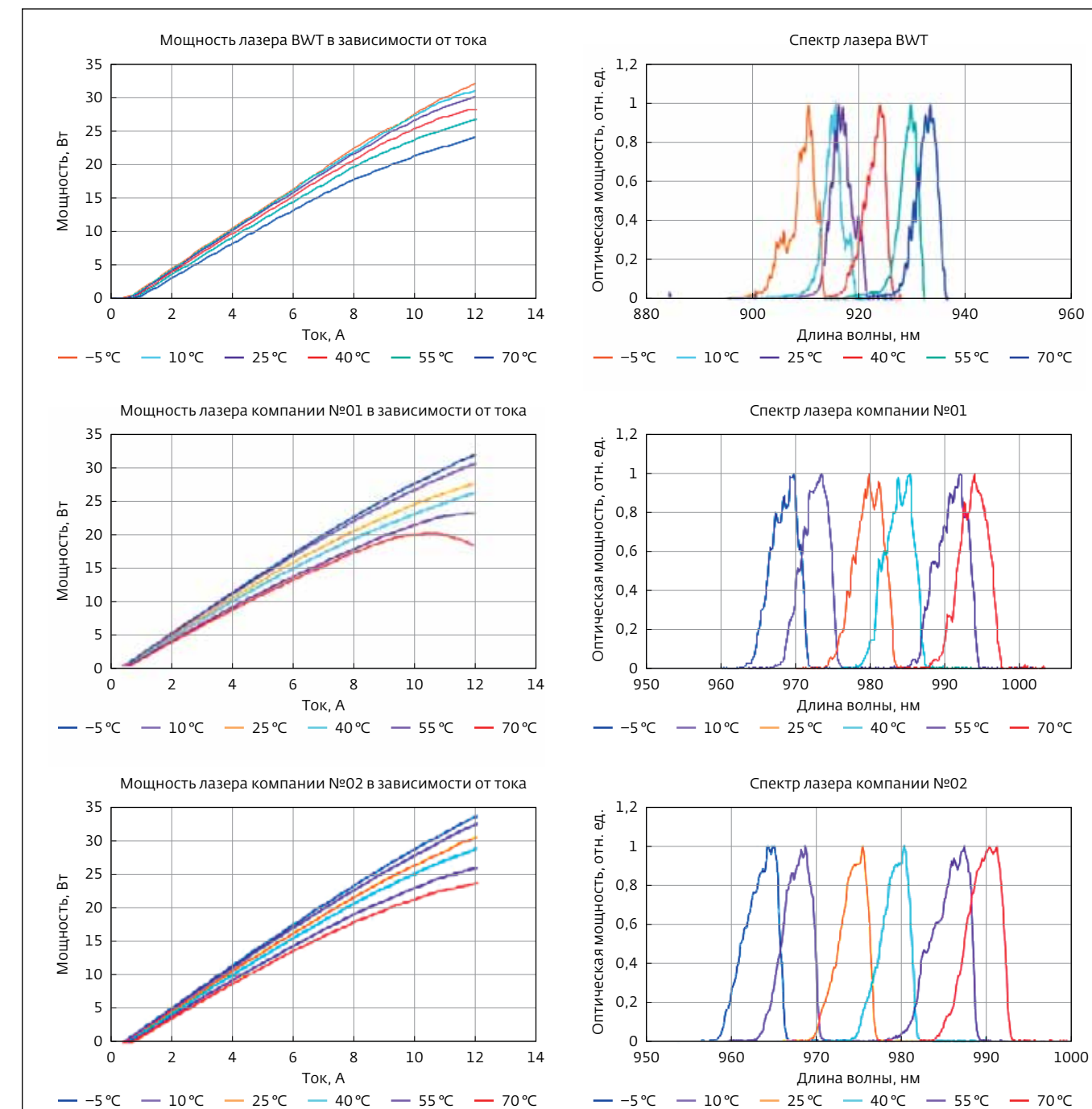


Рис.3. Изменения мощности и спектра излучения при различных рабочих температурах

и дизайна двух других компаний (компания № 01, компания № 02). На рис.3 представлены измеренные показатели выходной мощности и оптического спектра. На рис.4 дано сравнение коэффициентов изменений мощности изделий, произведенных тремя компаниями.

Из рис.3 можно увидеть, что изменение выходной мощности диодного лазера с несколькими одиночными излучателями компании BWT меньше по сравнению с этим же показателем, но для лазеров, произведенных двумя другими компаниями. Выходная мощность лазеров всех трех компаний снижается по мере повышения температуры, при этом показатели лазера компании № 01 имеют самый низкий уровень. Лазер компании № 02 сопоставим с лазером компании BWT (он незначительно хуже, чем лазер компании BWT). Сравнение трех лазеров показывает, что оптические компоненты и про-

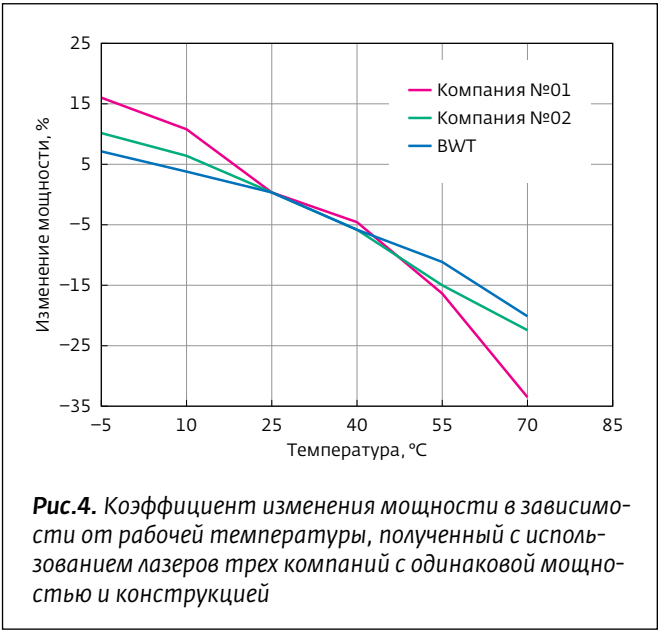


Таблица 2(а). Условия проведения ускоренного испытания на долговечность лазерных модулей с одиночным излучателем и волоконными выводами, в которых используется крепление КНП индием

Группа испытаний	Описание	Количество образцов	Время ускоренного испытания долговечности (ч)	Условия испытания долговечности	Результаты
1	830-1,0 Вт	18	2000	1,4 А, 40°C	Рис.5а
2	808-4,0 Вт	12	2000	5,0 А, 40°C	Рис.5b

Таблица 2(б). Условия проведения ускоренного испытания на долговечность лазерных модулей с несколькими одиночными излучателями и волоконными выводами, в которых используется крепление КНП AuSn

Группа испытаний	Поставщик №	Описание 9xx нм	Кол-во излучателей в одном модуле	Количество образцов	Время ускоренного испытания долговечности (ч)	Условия испытания долговечности	Результаты
3	А, пластина-01	20 Вт	2	11	2000	11,4 А, 45°C	Рис.6а
4	А, пластина-02	25 Вт	3	11	1000	10,7 А, 45°C	Рис.6b
5	А, пластина-03	30 Вт	3	12	2000	12,0 А, 35°C	Рис.6с
6	В	25 Вт	3	9	6000	10,0 А, 35°C	Рис.6d
7	С	45 Вт ~60 Вт	6~7	11	2000	10р, 45°C	Рис.7а

Таблица 2(с). Условия проведения ускоренного испытания на долговечность лазерных модулей с одиночным излучателем и волоконными выводами, в которых используется крепление КНП AuSn

Группа испытаний	Поставщик №	Описание	Количество образцов	Время ускоренного испытания долговечности (ч)	Условия испытания долговечности	Результаты
8	С	915-10,0 Вт	16	2000	11,3 А, 40°C	Рис.7b
9	С	976-9,0 Вт - wavelock	11	3000	12,0 А, 45°C	Рис.8

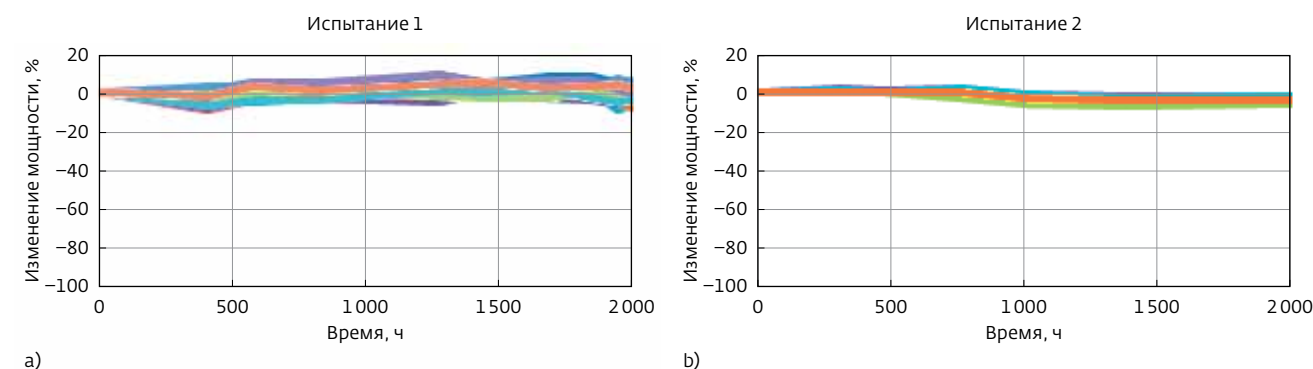


Рис.5. Результаты ускоренного испытания на долговечность

цессы, используемые в лазерах компании BWT, имеют высокую стабильность и прогнозируемую высокую надежность работы.

Смещение длины волны лазера компании BWT из-за изменения температуры составляет $\delta\lambda/\delta T = 0,31 \text{ нм}/^\circ\text{C}$. Для лазеров компаний № 01 и 02 это значение составляет $0,34 \text{ нм}/^\circ\text{C}$ и $0,37 \text{ нм}/^\circ\text{C}$ соответственно. Смещение длины волны лазера компании BWT меньше, чем у лазеров, произведенных другими двумя компаниями. Это также указывает на то, что в диодном лазере, изготовленном компанией BWT, достигается низкий показатель тепло-

вого сопротивления вследствие хорошего термального контроля, хорошего крепления, а также стабильного оптического дизайна и технологии.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ СТАБИЛЬНОСТИ

4.1. Долговременные испытания на долговечность

В зависимости от длины волны, типа корпуса и выходной мощности лазеров мы поделили лазерные модули с волоконными выводами на разные категории. В отличие от лазеров с одним одиноч-

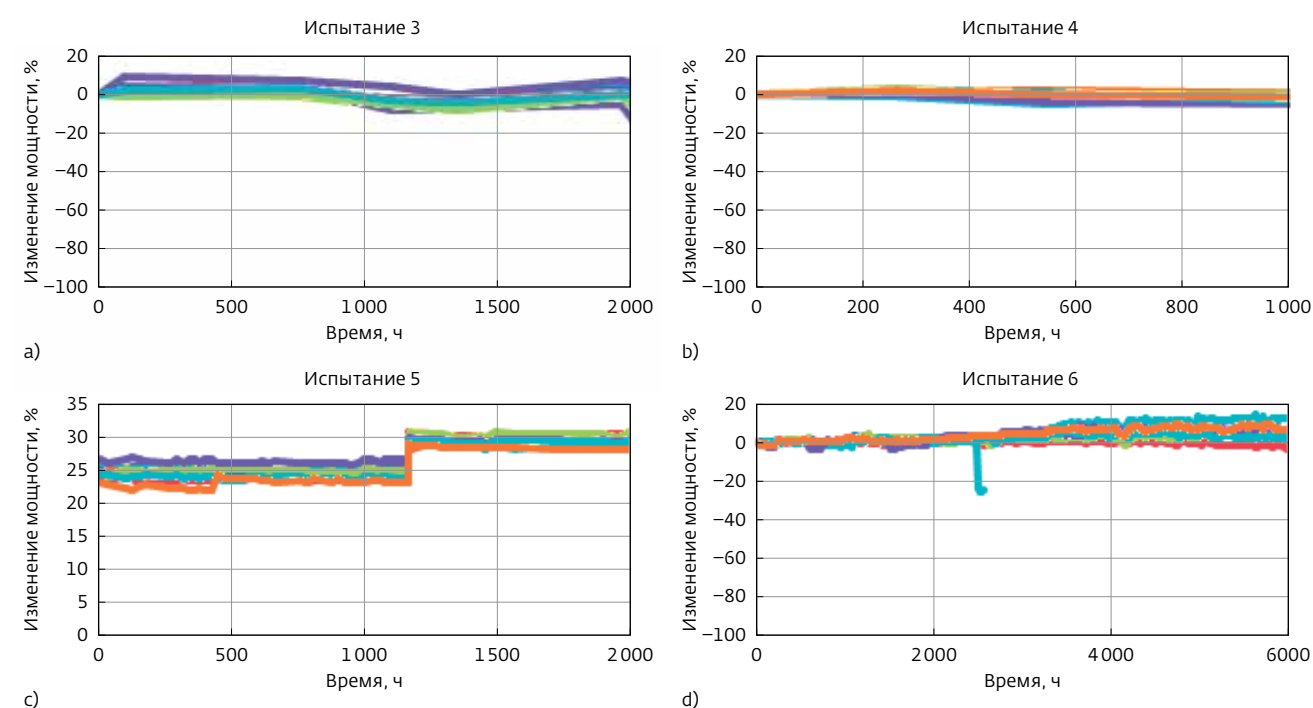


Рис.6. Результаты ускоренного испытания на долговечность

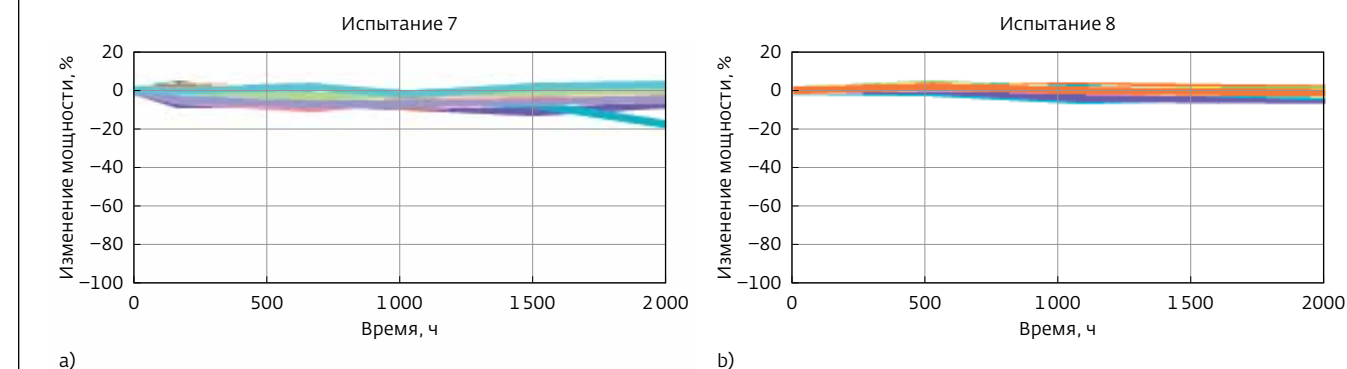


Рис.7. Результаты ускоренного испытания на долговечность (испытание 8 продолжается)

ным излучателем, лазерные модули с несколькими одиночными излучателями состоят из лазеров, у которых на один модуль приходится от 2 до 7 излучателей.

В соответствии с вышеописанной процедурой ускоренных испытаний на долговечность повышенная температура применяется в качестве нагрузки для ускорения испытания на определение долговечности модуля. Температура корпуса и ток возбуждения этих лазерных модулей оставались постоянными, а регистрировали изменения выходной мощности (Испытание 1 – Испытание 9) и длины волны в ходе проведения этих экспериментов. В табл. 2 даны условия проведения этих экспериментов.

Испытание 1 и Испытание 2 (рис.5) являются ускоренными испытаниями на долговечность лазерных модулей с одиночным излучателем с диодными лазерами двух разных производителей. В приборах используется крепление кристаллов индием с целью оценки срока службы лазерных модулей с волоконными выводами

и индиевым креплением. В табл. 2 (а) подробно указаны результаты.

Испытание 3 – Испытание 5 являются ускоренными испытаниями на долговечность лазерных модулей с с диодными лазерами, состоящими из нескольких одиночных излучателей, в которых используется крепление кристаллов с помощью AuSn на трех разных пластинах (рис.6). Приборы получены от одного и того же поставщика. Цель испытаний – оценка срока службы лазерных модулей с волоконными выводами и креплением AuSn. Результаты этих испытаний приведены в табл. 2 (b). В отношении испытания 5 были использованы две стадии: первая стадия испытания проводилась на устройствах при 10 А (порядка 25 Вт) на протяжении 1000 часов, а вторая стадия испытания проводилась при 12 А (порядка 30 Вт) на протяжении остальных часов.

Испытание 3 – Испытание 5, Испытание 6 и Испытание 7 (рис.7) являются ускоренными испытаниями на долговечность лазерных модулей с несколькими одиночными излучателями

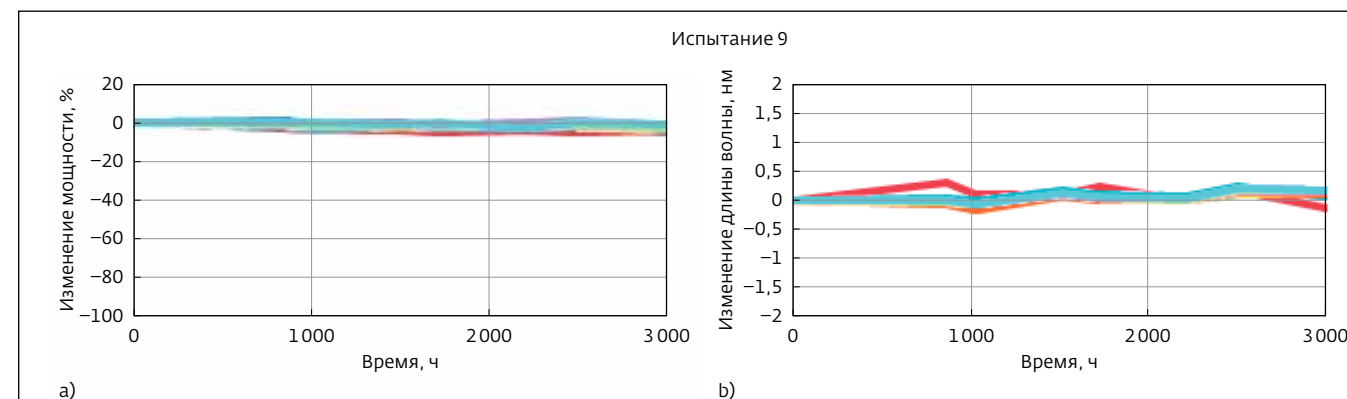


Рис.8. Результаты ускоренного испытания на долговечность: а – мощность, б – средняя длина волны



Таблица 3. Средняя наработка до отказа лазерных модулей

Группа испытаний	Описание	Средняя наработка до отказа при CL60% (ч.)	Тип крепления	Общая наработка до отказа при CL60% (ч.)	B05 при CL60% (ч.)	B10 при CL60% (ч.)
1	830-1,0 Вт	90965	Индий	151608	7777	15979
2	808-4,0 Вт	60643				
3	9xx-20 Вт	72258	AuSn	177710	9116	18730
4	9xx-25 Вт	36129				
5	9xx-30 Вт	34219				
6	9xx-25 Вт	80360				
7	9xx-45 Вт ~60 Вт	72258	AuSn	80857*	4147	8522
8	915-10,0 Вт	80857*				
9	976-9,0 Вт	108386	Стабилизированная длина волны	108386	5560	11424

* Это ускоренное испытание на долговечность, Испытание 8, все еще продолжается. Общее количество часов является неполным по состоянию на данный момент

с диодными лазерами, в которых используется крепление кристаллов с помощью AuSn, полученных от трех различных поставщиков, с целью оценки срока службы лазерных модулей с волоконными выводами и креплением AuSn. Детальные данные этих испытаний можно увидеть в таблице 2 (b). Модули, используемые в Испытании 7, довольно отличаются от модулей, изготовленных для Испытания 3 – Испытания 6. Модули для Испытания 7 были изготовлены из 6 или 7 одиночных излучателей в одном лазерном модуле. Его можно использовать для оценки степени надежности лазерных модулей с несколькими одиночными излучателями сверхвысокой яркости.

Испытание 8 (рис.7) представляет собой ускоренное испытание на долговечность лазерных модулей с одиночным излучателем с диодными лазерами, в которых используется крепление кристаллов с помощью AuSn, полученных от других поставщиков, с целью оценки срока службы лазерных модулей с волоконными выводами и креплением AuSn.

Образцы, используемые в Испытании 9 (рис.8), представляют собой лазерные модули с волоконными выводами и стабилизированной длиной волны, разработанные с целью достижения полосы поглощения 976 нм в сфере применения волоконных лазеров. Этот эксперимент

проводился с целью оценки стабильности спектра оптического элемента с контролируемой длиной волны, используемого в этом модуле, а также производственного процесса для изготовления этого вида лазера. Детальная информация об этих испытаниях дана в таблице 2 (c).

4.2. Анализ испытаний на долговечность

Из результатов девяти ускоренных испытаний на долговечность можно видеть, что у большинства образцов сохраняется стабильный показатель мощности при испытаниях. Однако временами проявляется случайный отказ работы, но это не отказ вследствие износа. При критерии отказа $\Delta P \leq \pm 20\%$ только один образец излучателя показал сбой работы среди общего количества 111 штук испытываемых модулей с волоконными выводами (всего 242 излучателя). Среди них использовались лазерные модули с несколькими одиночными излучателями высокой степени яркости в количестве 54 шт. Таким образом, вероятность безотказной работы готовых изделий после проведения ускоренного испытания на долговечность выше 98%. Согласно модели Аррениуса может быть рассчитана средняя наработка до отказа при температуре 25°C; рассчитанные параметры показаны в табл. 3.

Результаты ускоренных испытаний на долговечность показывают, что и лазерные модули

с одним одиночным излучателем, и лазерные модули с несколькими одиночными излучателями обладают высокой надежностью. При использовании метода максимального правдоподобия [5] средняя наработка на отказ составила около 177 тыс. ч. (20 лет) при температуре 25°C.

Наши клиенты из промышленных и медицинских сфер применения лазеров требуют, чтобы средняя наработка на отказ при 25°C составляла более 100 тыс. ч. Таким образом, все ускоренные испытания на долговечность были проведены только для того, чтобы выполнить или даже превзойти требования наших покупателей. В определенный момент, когда эти результаты были достигнуты, проведение экспериментов было остановлено. Хотя продолжение экспериментов помогло бы установить, что продолжительность средней наработки на отказ может быть намного выше.

Когда клиенты используют оборудование в различных рабочих условиях, фактический срок службы может отличаться от того, что указано в документах. В практических условиях эксплуатации все лазерные модули с несколькими одиночными излучателями компании BWT, которые мы доставили покупателям несколько лет назад (в целом около 100 000 единиц лазерных модулей с несколькими одиночными излучателями компании BWT), в настоящее время все еще находятся в эксплуатации с общей наработкой около 1000 000 000 часов на устройство. Можно сделать вывод о том, что наша конструкция, техника и технология эффективны для повышения рабочих характеристик, качества и надежности этого вида диодных лазеров с несколькими одиночными излучателями.

5. ВЫВОДЫ

В настоящей работе использованы различные кристаллы, полученные от разных поставщиков, монтаж которых осуществлялся на подложках разного типа. Были оптимизированы технология и условия крепления. На основании усовершенствованного процесса крепления все типы КНП установлены в модули с несколькими одиночными излучателями для того, чтобы получить высокий уровень яркости и мощности с оптоволоконного выхода. Изменение мощности и смещение длины волны излучения были зарегистрированы при воздействии различных рабочих температур. Изменение мощности и длины волны в лазерных модулях также было

зарегистрировано в ходе проведения ускоренных испытаний на долговечность. Результаты испытаний показывают, что компания BWT обладает способностью создавать диодные сборки и модули из различных кристаллов, выращенных разными производителями. Результаты подтвердили, что процессы крепления кристаллов и их установки, выработанные в компании BWT, способствуют созданию модулей с оптическим излучением высокой яркости, при этом существует возможность контроля стабильности длины волны. В данном исследовании общая продолжительность наработки на отказ в отношении исследуемых диодных лазеров достигла 177 тыс. ч (порядка 20 лет). В реальных условиях эксплуатации, а также согласно данным обратной связи с покупателями, можно отметить, что наши модули с несколькими одиночными излучателями вновь показали высокий уровень надежности и эффективности, который превышает ожидания клиентов. Исследования, описанные в настоящей работе, могут служить руководством по получению диодных лазеров с более высокой эффективностью и надежностью работы в отношении соответствующих сфер применения в будущем.

ЛИТЕРАТУРА

1. S.Patterson. Advances in High Power, High Efficiency, High Brightness Fiber Coupled Diode Lasers from 635-nm to 1900-nm and Beyond. – 20th Annual Solid State and Diode Laser Technology Review, 2007.
2. Telcordia Technologies, Generic Reliability Assurance Requirements for Optoelectronic Devices Used in Telecommunications Equipment. – An SAIC Company, 2004.
3. V.Rossin, E. Zucker, M. Peters, M. Everett, B.Acklin. High-Power High-Efficiency 910-980nm Broad Area Laser Diodes. – Proc. of SPIE, 2004, v.5336, 5336-27.
4. <http://www.ansys.com>
5. L.Bao, P. Leisher, J.Wang, M.Devito, D.Xu, M. Grimshaw. High Reliability and High Performance of 9xx nm Single Emitter Laser Diodes. – SPIE LASE. International Society for Optics and Photonics, 2011, v.791806, 791806-12.

Компания ОЭС "Спецпоставка" представляет весь спектр продукции BWT Beijing Ltd на территории РФ и предлагает наиболее выгодные условия поставки продукции, полную техническую поддержку, а также поставку образцов.