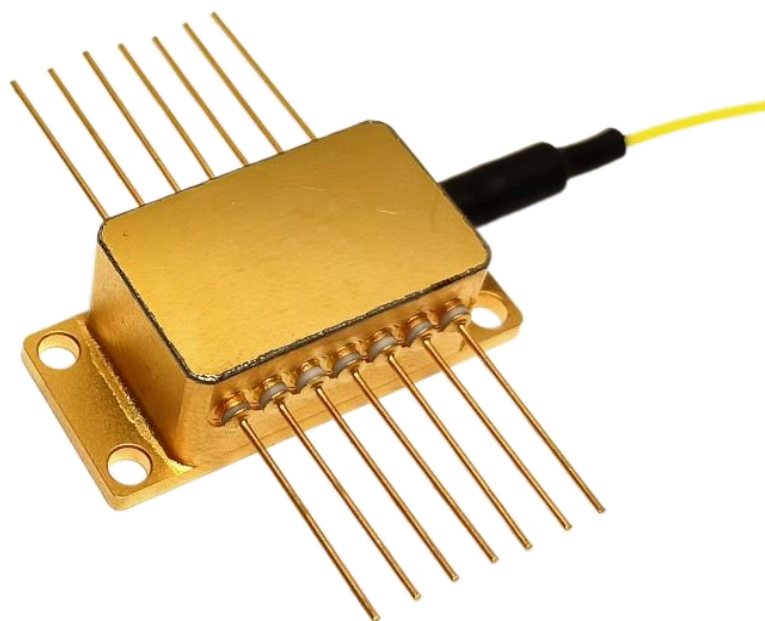


АО Нолатех, Москва
Тел. +7 (495) 333 55 68
www.nolatech.ru
nolatech@mail.ru



BLD
Одночастотный лазерный модуль
Руководство пользователя



Содержание

| | |
|---|----|
| ГЛАВА 1. Описание | 3 |
| ГЛАВА 2. Подготовка к работе с модулем..... | 3 |
| ГЛАВА 3. Настройка лазерного модуля | 4 |
| 3.1. Одночастотный режим работы BLD модуля | 4 |
| 3.2. Регулировка центральной длины волны | 9 |
| 3.3. Температурная и токовая настройка..... | 9 |
| 3.4. Высокочастотная модуляция и импульсный режим работы | 10 |
| 3.5. Ширина линии спектральной линии | 10 |
| ГЛАВА 4. Общие правила безопасной эксплуатации лазерного модуля | 11 |
| Приложение 1 | 12 |
| Приложение 2 | 13 |

ГЛАВА 1. ОПИСАНИЕ

Лазеры серии BLD являются источниками лазерного излучения с одной частотой, обладающими спектральными свойствами, сопоставимыми с лазером DFB, но с более узкой линией и большей выходной мощностью. Лазер с одной частотой, с внешним гибридным резонатором на основе «ближней» (расположена на расстоянии 3-5 мм от передней просветленной грани кристалла лазера) волоконной брэгговской решетки (ВБР), полупроводниковый лазерный модуль в компактном 14-выводном корпусе "Butterfly". Лазер с одной частотой содержит встроенный термоэлектрический охладитель (Пельтье), терморезистор с одномодовым выходным волокном или выходным волокном с поддержанием поляризации (PM) с диаметром сердцевины от 2,1-9,1 мкм. Разъемы FC/APC являются стандартными, но этот лазер может быть поставлен с любым запрашиваемым типом разъема.

ГЛАВА 2. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ С МОДУЛЕМ

Лазер типа BLD совместим с любым стандартным 14-выводным креплением для корпуса типа «Butterfly». Стандартной распиновкой BLD лазера является конфигурация «Тип 1», также возможен вариант выполнения изделия с конфигурацией «Тип 2». Также есть возможность изготовить модуль в корпусе 14 DIL. Идеальная работа серии лазеров BLD требует очень точного контроля тока (10^{-5} - 10^{-6} А) и температуры (10^{-2} °С), также необходимо использование малошумящего драйвера накачки. Эти лазеры совместимы со стандартными драйверами лазерных диодов и контроллерами температуры, например: DLC-1200 OEM (см. рис. 1), DLC-1300 (см. рис. 1), а также зарубежными аналогами.

Драйверы DLC-1200-OEM и DLC-1300 обеспечивают стабильность поддержания рабочего тока накачки (10^{-3} - 10^{-4} А) и точность контроля температуры примерно (10^{-1} °С). Эти драйверы способны обеспечить возможность получения одночастотного режима генерации и достижения ширины спектральной линии порядка 0,5-1 МГц в зависимости от типа лазера и длины волны.



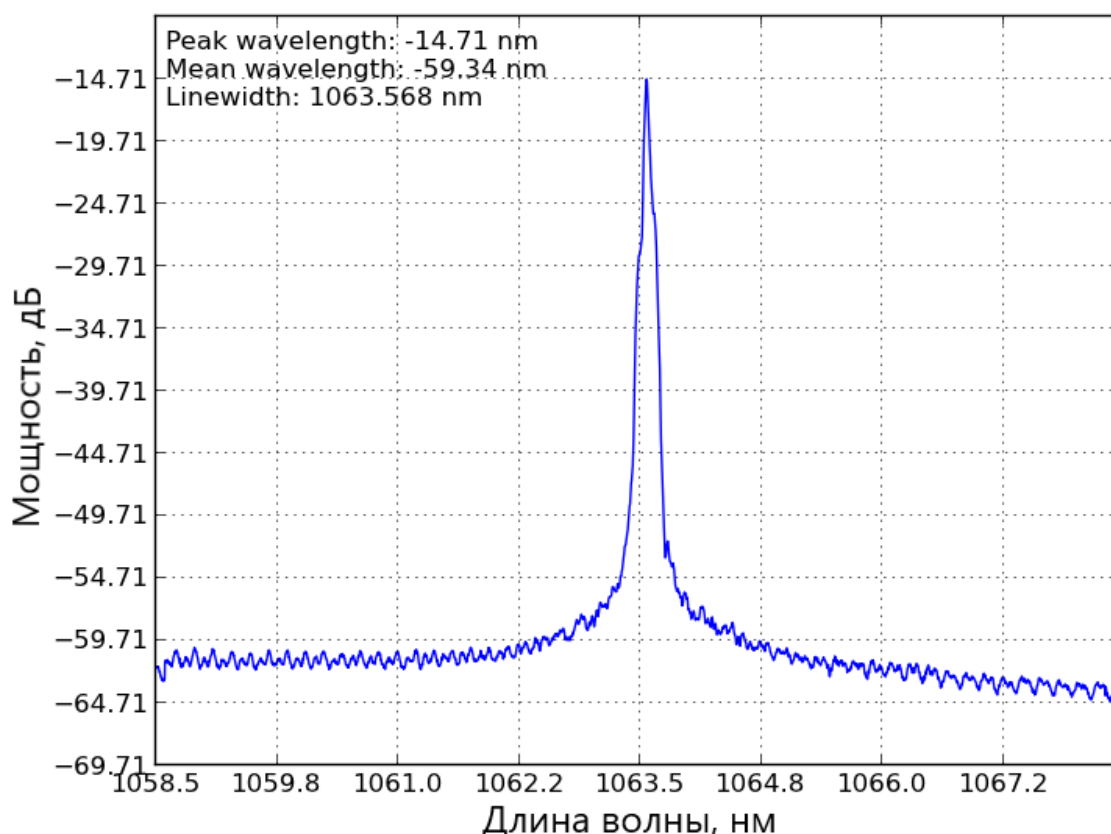
Рисунок 1 –Драйверы тока накачки DLC-1200 OEM (слева) и DLC-1300 (справа)

Производитель – АО «НОЛАТЕХ»

ГЛАВА 3. НАСТРОЙКА ЛАЗЕРНОГО МОДУЛЯ

3.1. Одночастотный режим работы BLD модуля:

Серия лазеров BLD представляет из себя лазер с внешним резонатором, который обеспечивает более узкую линию спектра, чем DFB-лазер. Однако, в отличие от DFB-лазера, лазер серии BLD не является безусловно одночастотным. Одночастотная генерация определяется как наличие отношения подавления боковой моды (SMSR) ≥ 40 дБ, как показано ниже на рисунке 2. Лазер серии BLD разработан и изготовлен для обеспечения высокоомощной одночастотной генерации в диапазоне рабочих токов и температур. Однако существуют определенные рабочие токи и температурные условия, при которых лазер серии BLD может демонстрировать многочастотную лазерную генерацию (более 1 моды), как показано на рисунке 2. Для того, чтобы помочь пользователю в выборе необходимых и правильных условий работы с лазерным модулем, с каждым устройством поставляется технический паспорт, который предоставляет рабочие характеристики изделия.



2 – График спектра BLD-1064 для примера

На рисунке 2 наблюдается устойчивый одночастотный режим генерации на длине волны 1063.57 нм при измерении в логарифмическом масштабе. Также вместе с выделенной

с помощью ВБР длиной волны можно наблюдать остаточное влияние подавленных мод собственного резонатора лазерного чипа, которые могут присутствовать в общем контуре усиления из-за «неидеальности» технологии нанесения и качества оптических просветляющих покрытий, коэффициент отражения которых может составлять 0,5% и менее.

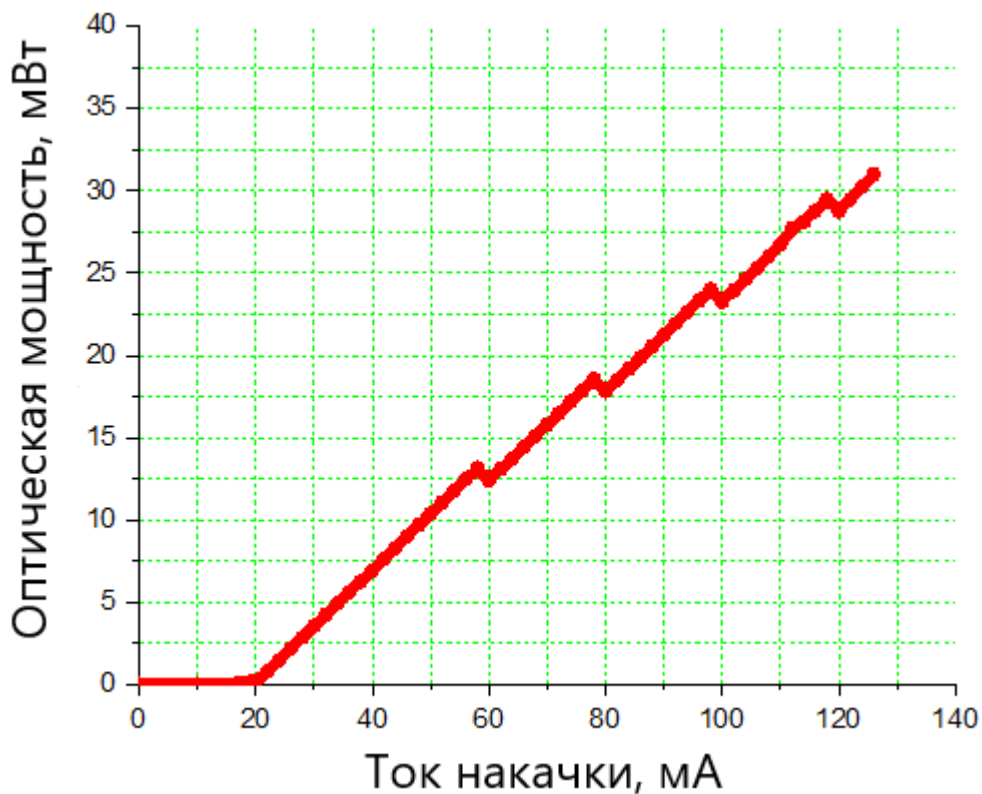


Рисунок 3 – Пример ВТАХ характеристики лазерного модуля BLD с ВБР

На рисунке 3 отражено поведение ВТАХ в лазерном модуле с встроенной ВБР. При небольших токах накачки наблюдается достаточно линейное поведение ВТАХ и высокостабильный одночастотный режим работы. Однако при увеличении тока накачки начинают сказываться эффекты, связанные с неидеальным просветлением передней грани кристалла лазера 0,5% и менее и недостаточно узкой полосы отражения ВБР (0,08-0,1 нм). Соответственно возможна ситуация с перескоком моды, что отражено на графике.

Чем меньше длина волны излучения лазерного чипа, тем меньше межмодовое расстояние собственных мод резонатора. Соответственно сложность настройки рабочего режима такого модуля повышается, так как необходимо совместить по фазе моду внутреннего резонатора и моду внешнего резонатора, при этом выбрать линейный участок ВТАХ с которым предстоит работать.

На рисунке 4 (верхний) наблюдается стабильная одночастотная лазерная генерация. Существуют такие точки в диапазоне тока накачки, в которых может происходить фазовое рассогласование собственных мод кристалла лазера и мод ВБР. Следствием этого является «развал спектра» и многочастотный режим работы лазера, что отражено на рисунке 4 (нижний).

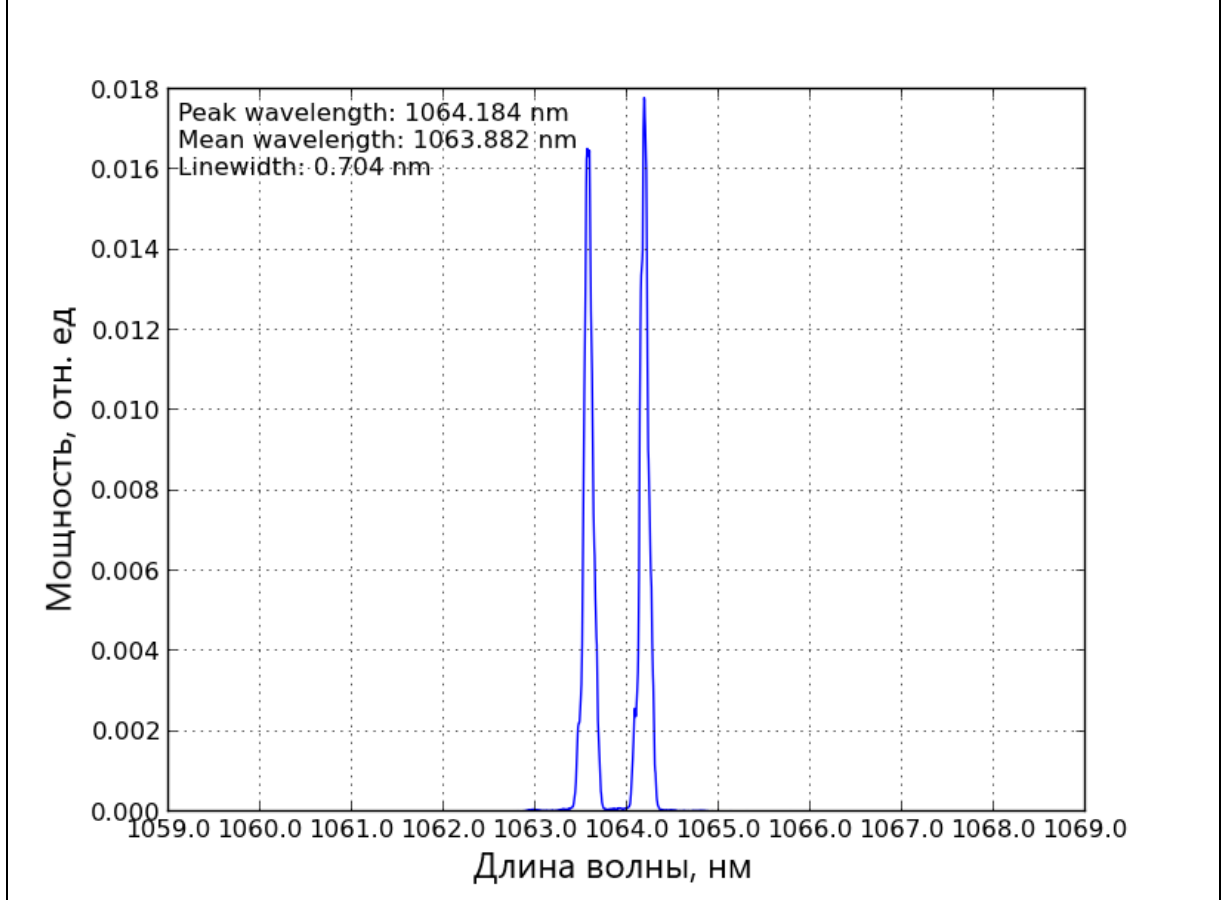
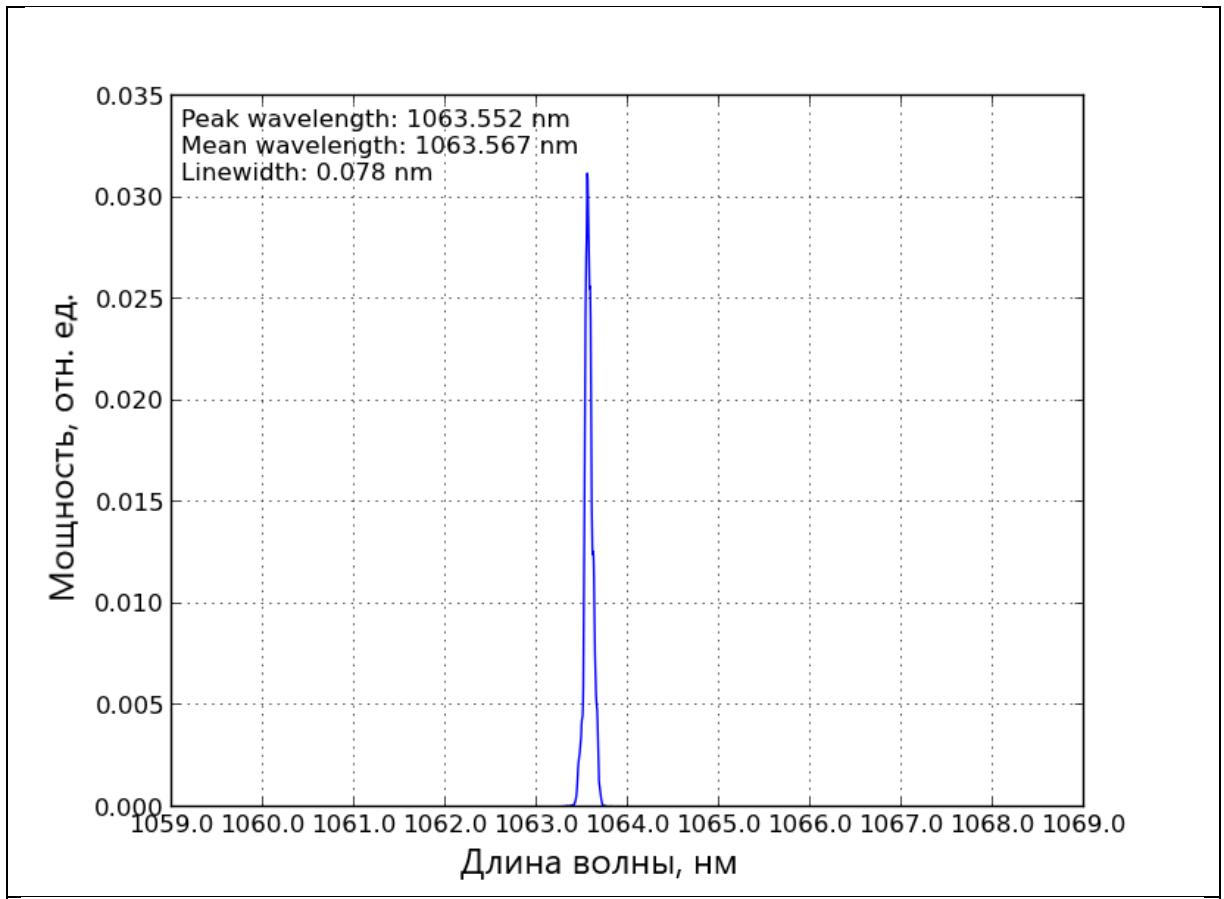


Рисунок 4 – График с демонстрацией развала спектра и его причин (многочастотная генерация)

Паспортные данные предоставляют рекомендуемые параметры рабочего тока и температуры в некотором диапазоне заданной мощности, при которых устройство соответствует всем спецификациям (одиночная частота, мощность, длина волны).

Непосредственно при самом использовании лазерного модуля необходимо проводить дополнительную настройку тока и температуры, подбирать участки линейности ВтАХ с одночастотным режимом работы. Самый простой способ проверить работу на одной частоте – это наблюдать выходной спектр лазера серии BLD на оптическом спектроанализаторе (ОСА). Если ОСА недоступен, то выходной сигнал можно наблюдать, подключив выход лазера непосредственно к измерителю мощности, например. Разница в выходном сигнале обычно наблюдается, когда лазер переключается между одночастотной и многочастотной работой (во время перескоков мод мощность лазера может скачкообразно уменьшаться, так и увеличиваться). Например, в интерферометрических исследованиях и применениях выход лазера с одной частотой с высокой когерентностью (ширина линии, ограниченная Лоренцовским приближением, ≤ 50 кГц) даст очень чистый интерферометрический сигнал, но многочастотное лазерное излучение значительно ухудшит сигнал. Наблюдать точки перескоков мод можно в широком диапазоне токов накачки, поэтому требуется тщательный контроль параметров лазера (тока и температуры) и первичный поиск рабочей точки с заданной выходной оптической мощностью.

При непосредственной работе с модулем BLD:

1. Установите температуру ТЕС (Т) и рабочий ток (I) в соответствии с рекомендациями, указанными в паспорте изделия. Лазер должен иметь стабильную работу на одной частоте. Однако из-за различных температур окружающей среды (тестирование и настройка лазерного модуля перед последующей поставкой производится при стабилизированной температуре корпуса изделия $T = 25$ °С) и точности калибровки контроллера температуры возможно, что лазер находится вне режима одночастотной работы. Небольшое изменение тока вернет лазер к работе на одной частоте.

2. ВтАХ лазера чувствительна к температуре ТЕС. Соответственно наклон ВтАХ будет зависеть от изменения температуры ЛД. Изменяя ток накачки лазера всегда можно добиться одночастотного режима работы с качественными выходными характеристиками, заданной оптической мощностью, узкой шириной линии и высоким подавлением боковых мод > 40 dB в этом диапазоне температур.

3. Температура окружающей среды имеет слабое влияние на ВтАХ лазера. В большинстве лабораторных условий работа на одной частоте всегда останется неизменной по сравнению с паспортными данными изделия. Если температура окружающей среды значительно отклоняется от 25 °С, может потребоваться изменить ток и температуру лазера, чтобы найти «рабочую точку» с одночастотным режимом работы. Если температура окружающей среды находится между 10 и 60 °С, всегда будет возможно достичь работы лазера на одной частоте, регулируя ток накачки и температуру кристалла.

4. Температура корпуса лазерного модуля имеет серьезное влияние. При несоблюдении температурного режима и нарушении отвода тепла от корпуса лазерного модуля, корпус может расширяться при увеличении температуры (ТКЛР $4,5\text{--}6,5 \times 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$). Это расширение повлечет за собой физическую деформацию ВБР и сдвиг центральной рабочей длины волны). Для обеспечения максимальной стабильности, при больших токах накачки, высоких рабочих напряжениях, высоких мощностях выходного излучения, более 10 мВт необходимо использовать активное охлаждение с высокотеплопроводящим радиатором с рассчитанными геометрическими параметрами.

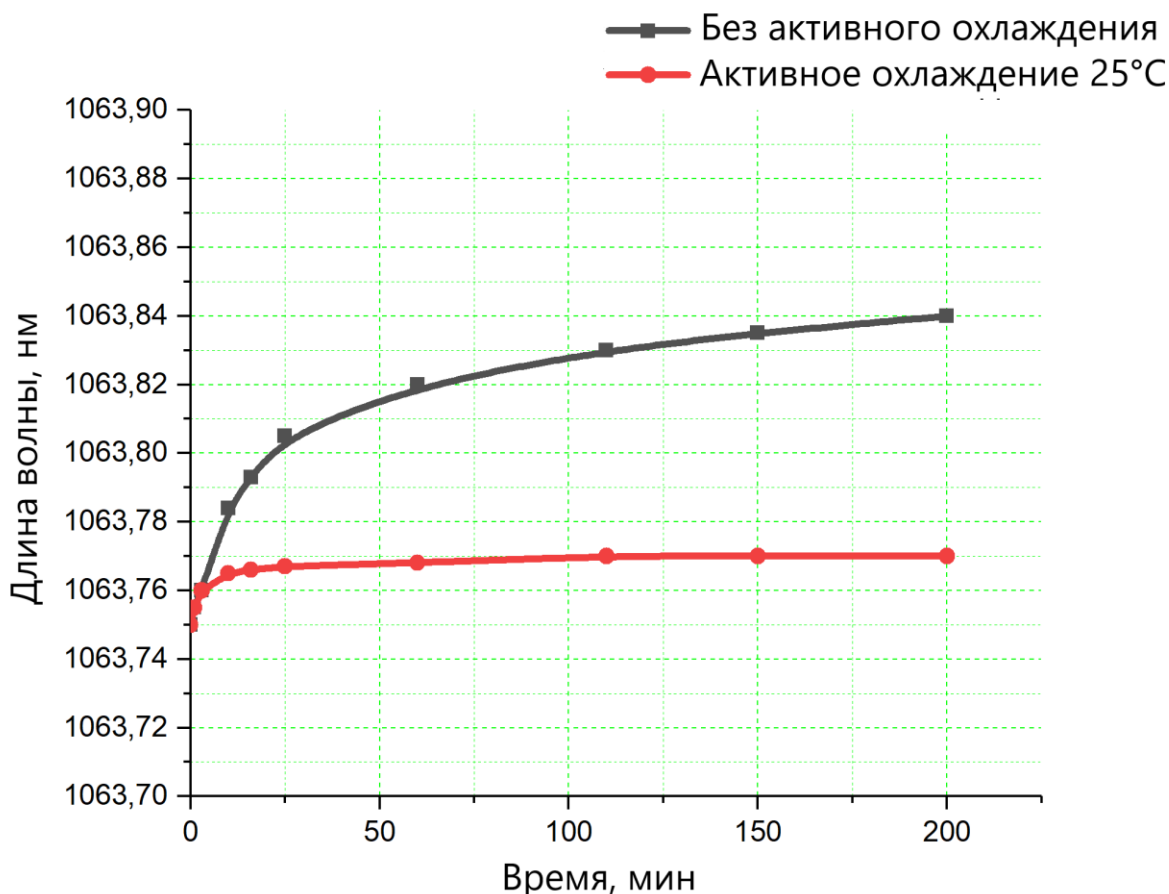


Рисунок 5 – График зависимости длины волны при разном типе охлаждения корпуса лазерного модуля

На рисунке 5 черный график отражает поведение длины волны в отсутствии активного охлаждения (пассивное охлаждение) в зависимости от температурных флуктуаций среды и физической деформации ВБР, вследствие, отсутствия термодинамического равновесия корпуса лазерного модуля. Красный график отражает поведение длины волны при полной температурной стабилизации корпуса лазерного модуля в состоянии термодинамического равновесия при стационарной комнатной температуре $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ с активным водяным охлаждением.

Примечания:

1. Использование фиксированного на радиаторе кулера в качестве элемента активного охлаждения для одночастотного BLD лазера не рекомендуется, так как напрямую влияет на качественные спектральные характеристики модуля. Происходит спектральная модуляция с частотой колебания лопастей кулера в результате механических колебаний;

2. Использование активного водяного охлаждения также требует дополнительного отвода тепла от самой охлаждающей жидкости, что усложняет общую конструкцию;

3. В идеальном случае необходимо осуществить подбор пассивного радиатора с высокой теплопроводностью и верными геометрическими параметрами, которые позволят осуществлять полный и достаточно быстрый отвод тепла (в зависимости от материала радиатора) от корпуса лазерного модуля в течении длительного времени.

3.2. Регулировка центральной длины волны лазерного модуля:

Лазер с одной частотой имеет фиксированную длину волны, определяемую конструкцией лазера с «ближней» ВБР, которая находится в пределах $\pm 0,5$ нм от центральной длины волны. Центральная длина волны лазерного излучения может регулироваться в небольшом диапазоне ($\sim 0,06-0,12$ нм) путем регулировки температуры ЛД и тока накачки. При изменении температуры и тока для нахождения желаемой длины волны лазерного излучения необходимо наблюдать за спектром или обнаруженным сигналом, чтобы контролировать параметры и не допускать фазового рассогласования мод собственного резонатора лазера и гибридного резонатора, образованного ВБР.

3.3. Температурная и токовая настройка

Как только установлена подходящая рабочая точка центральной длины волны, длину волны можно настраивать без каких-либо скачков продольных мод (непрерывно настраиваемая) в узком диапазоне (~ 5 ГГц и более, в зависимости от длины волны лазера). Коэффициент зависимости длины волны лазера (λ) от температуры (Т) составляет $\sim 0,08$ нм/°С, а коэффициент зависимости длины волны лазера (λ) от тока накачки (I) составляет примерно от 0.0008 до 0.0015-0.002 нм/мА (см. рисунок 6). Эти значения немного варьируются в зависимости от условий работы. Настройка с помощью изменения тока накачки является наиболее распространенным подходом для непрерывной перестройки, в первую очередь потому, что она легко масштабируется до быстрых скоростей настройки (100-1000 Гц и выше).

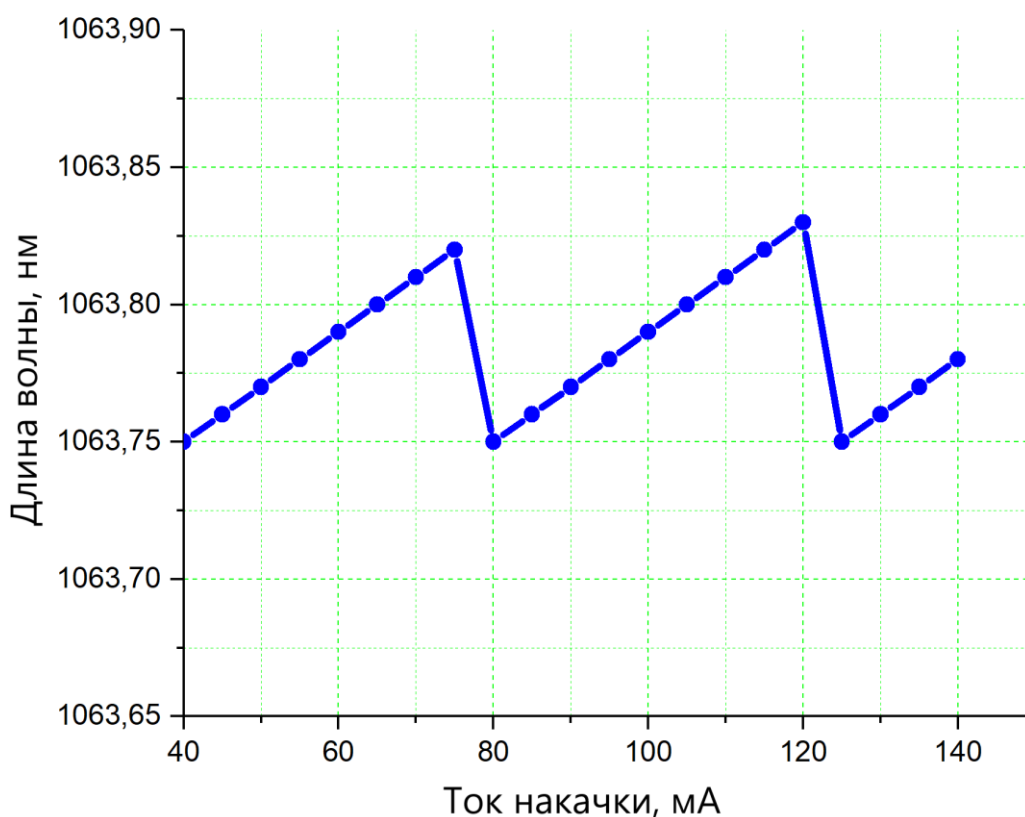


Рисунок 6 – График перестройки длины волны BLD лазерного модуля внутри селективности решетчатой структуры от тока накачки ЛД

3.4. Высокочастотная модуляция и импульсный режим работы

Для **BLD лазера** конструкции **Тип 1** и **Тип 2** доступна токовая модуляция (1 ГГц). В импульсном режиме работы быстродействие, длительности фронтов и длительности импульса лазера ограничены. Типичные **минимальные значения** длительности импульса могут составлять 10-50 нс, а длительности фронтов 5-10 нс. Также из-за особенностей конструкции модуляцию лазерного модуля нужно производить от «верхнего значения». Модулировать анод ЛД, катод на «земле». В зависимости от лазера при работе в импульсном режиме желательно выполнять некоторое DC смещение по току на величину порога.

3.5. Ширина спектральной линии

Ширина линии лазера BLD оценочно может составлять вплоть до 100кГц. Это так называемая ширина линии Лоренца. Для получения этой Лоренцевской формы линии необходимо использовать драйвер тока с ультранизким уровнем шума (батарейное питание) и контроллер ТЕС, чтобы избежать технического шума, который проявляется как искажение

Лоренцевской формы линии. Ширина линии, наблюдаемая с использованием типичных контроллеров тока/ТЕС, будет в диапазоне 200-500 кГц для длин волн 1310-1650 нм. Вплоть до 1 МГц на длинах волны 633-1180 нм.

ГЛАВА 4. Общие правила безопасной эксплуатации лазерного модуля

Из-за высокой чувствительности к электростатическому разряду (ЭСР) при обращении с лазерными диодами и работе с ними следует соблюдать осторожность:

1. При работе с диодами используйте заземленные антистатические браслеты;
2. Всегда работайте на заземленных антистатических ковриках.

Хранение лазерных диодов:

Когда лазер не используется, соедините его выводы, чтобы защитить от повреждения электростатическим разрядом.

Используйте подходящий драйвер

Лазерные диоды требуют точного контроля рабочего тока и напряжения, чтобы избежать перегрузки лазера. Кроме того, лазерный драйвер должен обеспечивать защиту от скачков напряжения в источнике питания. Выберите лазерный драйвер, подходящий для ваших целей. Не используйте источник питания с токоограничивающим резистором, так как он не обеспечивает достаточную стабилизацию для защиты лазерного диода.

Радиаторы

Срок службы лазерного диода обратно пропорционален рабочей температуре. Всегда устанавливайте лазерный диод на подходящий радиатор, чтобы отводить избыточное тепло от корпуса лазера.

Перегрузка по напряжению и току

Не превышайте максимальное напряжение и силу тока, указанные в спецификации для каждого лазерного диода, даже на короткое время. Кроме того, обратное напряжение всего в 2-3 В может повредить лазерный диод.

Устройство, чувствительное к электростатическому разряду

Лазерные диоды подвержены электростатическому повреждению даже во время работы. Это особенно усугубляется при использовании длинных интерфейсных кабелей между лазерным диодом и его драйвером из-за индуктивности кабеля. Не допускайте воздействия электростатического разряда на лазерный диод или его монтажное устройство.

Переходные процессы при включении/выключении и при подаче питания

Из-за малого времени отклика лазерные диоды могут быть легко повреждены при скачках напряжения длительностью менее 1 мкс. Сильноточные устройства, такие как паяльники, вакуумные насосы и люминесцентные лампы, могут вызывать кратковременные скачки напряжения, поэтому при работе с лазерными диодами всегда следует использовать розетки с защитой от перенапряжения.

| R25=10kΩ±1% B25/50=3950±1% | | | | | | | |
|----------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Temp(°C) | Rmin(KΩ) | Rnor(KΩ) | Rmax(KΩ) | Temp(°C) | Rmin(KΩ) | Rnor(KΩ) | Rmax(KΩ) |
| -40 | 287.255 | 300.197 | 313.691 | 3 | 26.893 | 27.440 | 27.996 |
| -39 | 269.681 | 281.652 | 294.124 | 4 | 25.634 | 26.143 | 26.660 |
| -38 | 253.296 | 264.372 | 275.904 | 5 | 24.441 | 24.914 | 25.394 |
| -37 | 238.011 | 248.263 | 258.930 | 6 | 23.308 | 23.748 | 24.194 |
| -36 | 223.747 | 233.238 | 243.108 | 7 | 22.234 | 22.643 | 23.057 |
| -35 | 210.428 | 219.219 | 228.354 | 8 | 21.215 | 21.595 | 21.979 |
| -34 | 197.987 | 206.131 | 214.588 | 9 | 20.247 | 20.600 | 20.957 |
| -33 | 186.359 | 193.906 | 201.739 | 10 | 19.328 | 19.656 | 19.987 |
| -32 | 175.488 | 182.483 | 189.739 | 11 | 18.456 | 18.760 | 19.067 |
| -31 | 165.318 | 171.805 | 178.528 | 12 | 17.627 | 17.909 | 18.193 |
| -30 | 155.801 | 161.817 | 168.049 | 13 | 16.839 | 17.100 | 17.364 |
| -29 | 146.890 | 152.472 | 158.250 | 14 | 16.090 | 16.332 | 16.577 |
| -28 | 138.544 | 143.724 | 149.082 | 15 | 15.378 | 15.602 | 15.829 |
| -27 | 130.724 | 135.531 | 140.502 | 16 | 14.701 | 14.909 | 15.118 |
| -26 | 123.392 | 127.855 | 132.467 | 17 | 14.057 | 14.249 | 14.443 |
| -25 | 116.516 | 120.661 | 124.940 | 18 | 13.444 | 13.622 | 13.800 |
| -24 | 110.065 | 113.914 | 117.887 | 19 | 12.860 | 13.025 | 13.190 |
| -23 | 104.009 | 107.585 | 111.274 | 20 | 12.305 | 12.457 | 12.609 |
| -22 | 98.323 | 101.646 | 105.071 | 21 | 11.776 | 11.916 | 12.056 |
| -21 | 92.981 | 96.070 | 99.251 | 22 | 11.273 | 11.402 | 11.531 |
| -20 | 87.962 | 90.832 | 93.787 | 23 | 10.793 | 10.911 | 11.030 |
| -19 | 83.250 | 85.920 | 88.665 | 24 | 10.336 | 10.445 | 10.554 |
| -18 | 78.819 | 81.301 | 83.853 | 25 | 9.900 | 10.000 | 10.100 |
| -17 | 74.648 | 76.957 | 79.329 | 26 | 9.476 | 9.576 | 9.676 |
| -16 | 70.723 | 72.870 | 75.075 | 27 | 9.073 | 9.172 | 9.272 |
| -15 | 67.026 | 69.023 | 71.074 | 28 | 8.688 | 8.787 | 8.887 |
| -14 | 63.543 | 65.402 | 67.308 | 29 | 8.322 | 8.420 | 8.519 |
| -13 | 60.261 | 61.990 | 63.763 | 30 | 7.972 | 8.070 | 8.168 |
| -12 | 57.167 | 58.776 | 60.425 | 31 | 7.639 | 7.736 | 7.833 |
| -11 | 54.249 | 55.746 | 57.280 | 32 | 7.321 | 7.417 | 7.513 |
| -10 | 51.496 | 52.890 | 54.316 | 33 | 7.017 | 7.112 | 7.208 |
| -9 | 48.898 | 50.195 | 51.522 | 34 | 6.728 | 6.822 | 6.917 |
| -8 | 46.445 | 47.653 | 48.887 | 35 | 6.452 | 6.545 | 6.638 |
| -7 | 44.129 | 45.253 | 46.401 | 36 | 6.188 | 6.280 | 6.372 |
| -6 | 41.941 | 42.987 | 44.055 | 37 | 5.936 | 6.027 | 6.118 |
| -5 | 39.873 | 40.847 | 41.840 | 38 | 5.696 | 5.785 | 5.875 |
| -4 | 37.919 | 38.825 | 39.749 | 39 | 5.466 | 5.554 | 5.642 |
| -3 | 36.071 | 36.914 | 37.773 | 40 | 5.246 | 5.333 | 5.420 |
| -2 | 34.322 | 35.107 | 35.906 | 41 | 5.037 | 5.122 | 5.208 |
| -1 | 32.668 | 33.398 | 34.142 | 42 | 4.836 | 4.920 | 5.004 |
| 0 | 31.102 | 31.782 | 32.473 | 43 | 4.644 | 4.727 | 4.810 |
| 1 | 29.623 | 30.255 | 30.898 | 44 | 4.461 | 4.542 | 4.624 |
| 2 | 28.221 | 28.810 | 29.407 | 45 | 4.286 | 4.365 | 4.445 |

Приложение 1

| R25=10kΩ±1% B25/50=3950±1% | | | | | | | |
|----------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Temp(°C) | Rmin(KΩ) | Rnor(KΩ) | Rmax(KΩ) | Temp(°C) | Rmin(KΩ) | Rnor(KΩ) | Rmax(KΩ) |
| 46 | 4.118 | 4.196 | 4.275 | 89 | 0.892 | 0.923 | 0.954 |
| 47 | 3.957 | 4.034 | 4.111 | 90 | 0.864 | 0.894 | 0.925 |
| 48 | 3.804 | 3.879 | 3.955 | 91 | 0.837 | 0.866 | 0.897 |
| 49 | 3.657 | 3.730 | 3.805 | 92 | 0.811 | 0.840 | 0.870 |
| 50 | 3.516 | 3.588 | 3.661 | 93 | 0.786 | 0.814 | 0.843 |
| 51 | 3.383 | 3.454 | 3.525 | 94 | 0.762 | 0.789 | 0.818 |
| 52 | 3.255 | 3.325 | 3.395 | 95 | 0.739 | 0.766 | 0.793 |
| 53 | 3.133 | 3.201 | 3.270 | 96 | 0.716 | 0.743 | 0.770 |
| 54 | 3.016 | 3.083 | 3.151 | 97 | 0.695 | 0.720 | 0.747 |
| 55 | 2.904 | 2.970 | 3.036 | 98 | 0.674 | 0.699 | 0.725 |
| 56 | 2.797 | 2.861 | 2.926 | 99 | 0.653 | 0.678 | 0.703 |
| 57 | 2.694 | 2.757 | 2.821 | 100 | 0.634 | 0.658 | 0.683 |
| 58 | 2.596 | 2.657 | 2.719 | 101 | 0.615 | 0.639 | 0.663 |
| 59 | 2.501 | 2.561 | 2.622 | 102 | 0.597 | 0.620 | 0.644 |
| 60 | 2.411 | 2.469 | 2.529 | 103 | 0.579 | 0.602 | 0.625 |
| 61 | 2.324 | 2.381 | 2.440 | 104 | 0.562 | 0.584 | 0.607 |
| 62 | 2.240 | 2.297 | 2.354 | 105 | 0.546 | 0.567 | 0.590 |
| 63 | 2.160 | 2.215 | 2.272 | 106 | 0.530 | 0.551 | 0.573 |
| 64 | 2.084 | 2.137 | 2.192 | 107 | 0.515 | 0.535 | 0.557 |
| 65 | 2.010 | 2.063 | 2.116 | 108 | 0.500 | 0.520 | 0.541 |
| 66 | 1.939 | 1.991 | 2.043 | 109 | 0.485 | 0.505 | 0.526 |
| 67 | 1.871 | 1.922 | 1.973 | 110 | 0.471 | 0.491 | 0.511 |
| 68 | 1.806 | 1.855 | 1.906 | 111 | 0.458 | 0.477 | 0.497 |
| 69 | 1.743 | 1.792 | 1.841 | 112 | 0.445 | 0.464 | 0.483 |
| 70 | 1.683 | 1.730 | 1.778 | 113 | 0.433 | 0.451 | 0.469 |
| 71 | 1.625 | 1.671 | 1.719 | 114 | 0.420 | 0.438 | 0.457 |
| 72 | 1.570 | 1.615 | 1.661 | 115 | 0.409 | 0.426 | 0.444 |
| 73 | 1.516 | 1.560 | 1.605 | 116 | 0.397 | 0.414 | 0.432 |
| 74 | 1.465 | 1.508 | 1.552 | 117 | 0.386 | 0.403 | 0.420 |
| 75 | 1.415 | 1.457 | 1.501 | 118 | 0.375 | 0.392 | 0.409 |
| 76 | 1.368 | 1.409 | 1.451 | 119 | 0.365 | 0.381 | 0.398 |
| 77 | 1.322 | 1.362 | 1.404 | 120 | 0.355 | 0.371 | 0.387 |
| 78 | 1.278 | 1.317 | 1.358 | 121 | 0.345 | 0.361 | 0.377 |
| 79 | 1.236 | 1.274 | 1.314 | 122 | 0.336 | 0.351 | 0.367 |
| 80 | 1.195 | 1.233 | 1.271 | 123 | 0.327 | 0.342 | 0.357 |
| 81 | 1.156 | 1.193 | 1.231 | 124 | 0.318 | 0.332 | 0.347 |
| 82 | 1.118 | 1.154 | 1.191 | 125 | 0.310 | 0.324 | 0.338 |
| 83 | 1.082 | 1.118 | 1.154 | | | | |
| 84 | 1.048 | 1.082 | 1.117 | | | | |
| 85 | 1.014 | 1.048 | 1.082 | | | | |
| 86 | 0.982 | 1.015 | 1.049 | | | | |
| 87 | 0.951 | 0.983 | 1.016 | | | | |
| 88 | 0.921 | 0.952 | 0.985 | | | | |

Приложение 2