

## Техническое описание и руководство по эксплуатации диодного лазера с внешним резонатором ECDL-8530RO

Диодный лазер с внешним резонатором ECDL-8530RO является источником перестраиваемого высококогерентного излучения в ближней ИК области оптического спектра. Центральная длина волны рабочего диапазона равна 852.1 нм. При этом возможна ее отстройка на 2 нм, как в коротковолновую, так и в длинноволновую сторону. Лазер может использоваться в метрологии, спектроскопии, интерферометрии.

ECDL-8530RO состоит из оптической головки и электронного блока управления, которые соединяются кабелем VGA типа. Стандартная длина кабеля составляет 1,8 м. Блок управления должен подключаться к сети переменного напряжения через розетку, имеющую контакт **независимого заземления**. Оптическая головка при правильном подключении заземлена, однако следует учитывать, что в состав оптической головки входит пьезоэлемент, питаемый напряжением 60 В. При снятой крышке возможен доступ к его контактам.

### Оптическая головка.

В состав оптической головки (Рис.1) входят:

хладопровод (поз.2) с установленным в нем просветленным лазерным диодом Sacher Lasertechnik SAL-0850-100 (S/N CA-01650).

оправы (поз.3) коллимирующего и выходного объективов ( $N_A = 0.6$ ;  $f = 4.02$  мм; выходная апертура – 4.8 мм);

два термоэлектрических микрохолодильника (элементы Пельтье);

два термодатчика (термисторы 10 кОм), установленных в хладопроводе и корпусе оптической головки;

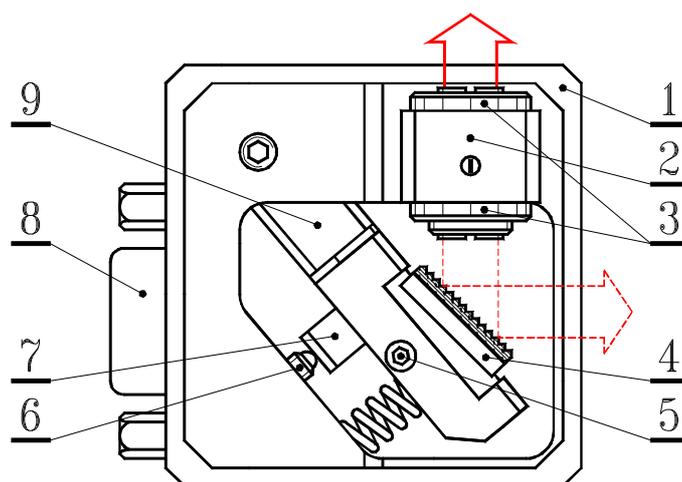
дифракционная решетка (поз.4), укрепленная на подвижном рычаге (поз.9);

пьезоэлемент (поз.7), приводящий рычаг в движение.

Чип лазерного диода смонтирован на контактной пластине типа C-mount. Такая контактная пластина позволяет выводить излучение диода с обеих его сторон, причем основной является задняя грань, обращенная от внешнего резонатора. Корпус лазера (поз.1) служит в качестве каркаса для всех оптических и механических компонентов ECDL. Два контура термостабилизации поддерживают неизменными температуры, как хладопровода, так и всего корпуса оптической головки (поз.7), независимо друг от друга и таким образом, что корпус головки служит в качестве радиатора для внутреннего контура термостабилизации, а основание оптической головки является радиатором для

внешнего контура термостабилизации. Основание оптической головки имеет с боков продольные пазы для ее установки на оптический стол. Следует применять такой монтаж оптической головки, при котором обеспечивается хороший теплоотвод от ее основания. Пластиковая крышка защищает ECDL от пыли, тепловых и акустических возмущений.

Оптический резонатор перестраиваемого лазера формируется задней гранью лазерного диода, имеющей коэффициент отражения  $\sim 10\%$ , и дифракционной решеткой ( $1800 \text{ мм}^{-1}$ ), установленной в схеме Литтрова. Промежуточная (передняя) грань, обращенная к решетке, имеет коэффициент отражения менее  $0,05\%$ . Решетка укреплена на горизонтальном валу, положение которого и определяет требуемое направление дифракции лазерного пучка. Пьезоэлемент, толкающий рычаг с дифракционной решеткой, изменяет одновременно и угол падения луча на решетку, и длину резонатора. Это позволяет расширить диапазон непрерывной перестройки частоты излучения. Подстроечный прецизионный винт (поз.6) обеспечивает грубую перестройку лазерной длины волны.



**Рис.1. Оптическая головка (вид сверху при снятой крышке).** 1 – корпус оптической головки; 2 – хладагент лазерного диода; 3 – оправы коллимирующего и выходного объективов; 4 – дифракционная решетка, укрепленная на горизонтальном валу; 5 – вертикальный фиксирующий винт M2; 6 – горизонтальный юстировочный винт M3x0,25; 7 – пьезоэлемент; 8 – разъем DHS-15F; 9 – подвижный рычаг.

Точное пространственное согласование падающей на решетку и дифрагированной волн критически важно для получения высокой когерентности и значительной мощности в выходном излучении лазера. ECDL-8530RO не имеет штатных регулировок для настройки взаимного положения лазерного диода и коллимирующего объектива, а также для юстировки дифрагированного лазерного пучка в вертикальном направлении. Эти важные установки требуют серьезного навыка и выполнены предварительно на

сборочном стенде. В случае повреждения или деградации лазерного диода его замена производится только изготовителем.

В отличие от юстировки коллимирующего объектива небольшая подстройка лазерного луча в вертикальной плоскости возможна и после демонтажа оптической головки со сборочного стенда. Горизонтальная ось (горизонтальный вал) дифракционной решетки установлена в цанговом зажиме. Цанговый зажим фиксируется или отпускается, когда вертикальный винт (поз.5) закручивается или выкручивается соответственно. Слегка асимметричный захват цанги приводит к проворачиванию горизонтального вала при закручивании винта 5 (Рис.1). Закручивание фиксирующего винта приводит к смещению лазерного луча вверх, выкручивание смещает луч вниз. **Не следует вращать фиксирующий винт более чем на четверть оборота!** В противном случае он может быть поврежден, или горизонтальный вал будет полностью ослаблен.

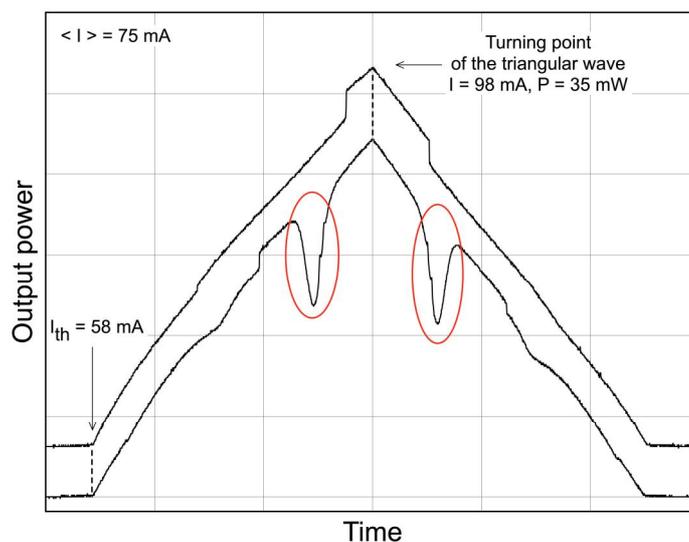
Если требуется значительное смещение лазерного луча в вертикальной плоскости, то следует воспользоваться П-образным шлицевым ключом из ремонтного комплекта (Рис.6). Для установки данного ключа в торце горизонтального вала имеется шлицевой паз с резьбовым отверстием М1,6. При отпущенном фиксирующем винте 5 горизонтальный вал вращается свободно. После установки вала в требуемое положение он может быть вновь зажат с учетом упомянутого выше вращения вала при затяжке фиксирующего винта.

Как правило, выходные пучки лазера астигматичны. Это связано и с их эллиптичностью, и с типом волновода структуры LD. Поэтому иногда наиболее эффективная оптическая обратная связь достигается при слегка сходящемся коллимированном пучке, т.е. его незначительная сходимость ( $\sim 2 \times 10^{-3}$ ) не означает неправильной юстировки коллиматора ECDL. Выходной объектив допускает регулировку сходимости основного (не смещаемого при юстировке) лазерного пучка.

### **Перестройка частоты ECDL-8530RO.**

Механическая стабильность ECDL-8530RO достаточно высока, чтобы сохранять выходные параметры лазера в течение недель. Так что регулировка тока инжекции лазерного диода и напряжения на пьезоэлементе является достаточным средством для точной настройки лазера на желаемую длину волны (например, длину волны атомного перехода). Однако ухудшение характеристик ECDL (увеличение порогового тока, уменьшение выходной мощности и диапазона перестройки частоты, слабое подавление боковых мод, возрастание амплитудного шума) может свидетельствовать о необходимости подъюстировки внешнего резонатора.

Следующие экспериментальные данные описывают работу ECDL-8530RO и могут служить в качестве образцовых при его юстировке.



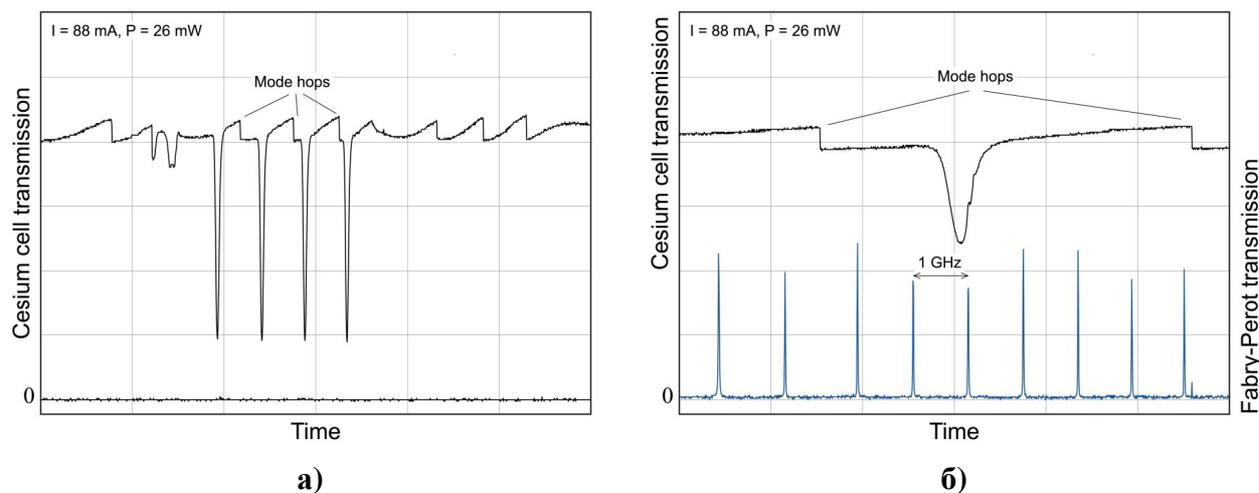
**Рис.2. Зависимости выходной мощности лазера от тока инжекции.** Ток лазерного диода модулируется симметричным треугольным сигналом. Зависимости сняты при постоянном напряжении на пьезоэлементе. Красные эллипсы выделяют зоны поглощения лазерного излучения в парах Cs.

На рисунке 2 приведены ватт-амперные характеристики (ВтАХ) ECDL-8530RO, т.е. зависимости выходной мощности лазера от тока инжекции. При вращении решетки в плоскости дифракции происходит изменение взаимного расположения по частоте контура селективности дифракционной решетки, мод лазерного диода (собственных мод) и мод ECDL (внешних мод). Такое изменение наглядно отражается в характере ватт-амперной характеристики, благодаря чему она служит удобным инструментом для выбора оптимального режима работы ECDL.

Встроенный генератор треугольного сигнала, по которому также синхронизируется развертка осциллографа, линейно во времени увеличивает и уменьшает ток лазерного диода, а соответствующее изменение выходной мощности лазера регистрируется фотоприемником. На Рис.2 приведены две осциллограммы, которые отличаются только наличием ячейки с парами цезия на пути лазерного излучения. Сигнал на фотоприемнике при установленной ячейке показан ниже. На сигнале видны зоны поглощения лазерного излучения (выделены красными эллипсами). Сигнал без ячейки сдвинут по вертикали для наглядности.

Практически горизонтальные участки в основании осциллограмм соответствуют допороговому режиму лазера. С появлением генерации выходная мощность монотонно нарастает с ростом тока (исключая зоны перескоков мод). Вариации тока накачки лазерного диода и, следовательно, температуры и показателя преломления усилительной

среды меняют оптическую длину диода и в целом длину резонатора ECDL. Регулярные резкие скачки на ВtАХ обусловлены перескоками по модам ECDL.

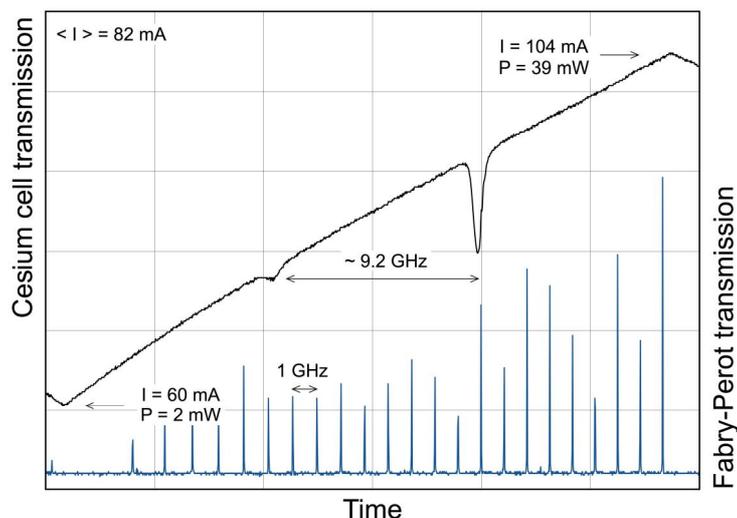


**Рис.3.** Зависимости мощности лазера на выходе Cs ячейки от напряжения на пьезоэлементе (верхняя кривая). Напряжение меняется линейно со временем (показан только один склон модулирующего сигнала), ток лазерного диода не меняется. Диапазон сканирования для 3б уменьшен в несколько раз. Нижняя кривая на Рис.3а показывает сигнал на фотоприемнике при перекрытом лазерном пучке, на Рис.3б – пропускание конфокального интерферометра.

Следующие осциллограммы (Рис.3) зарегистрированы при постоянном токе лазерного диода и линейно изменяющемся со временем напряжении на пьезоэлементе. Амплитуда сканирования пьезоэлемента выбрана максимальной для Рис.3а и уменьшена в несколько раз для Рис.3б. Осциллограммы соответствуют только одному склону модулирующего сигнала. Верхняя отражает сигнал на фотоприемнике после прохождения ячейки с парами цезия, нижняя на Рис.3а – сигнал на фотоприемнике при перекрытом лазерном пучке, нижняя на Рис.3б – пропускание конфокального интерферометра с областью свободной дисперсии 1 ГГц. На верхней кривой хорошо видны скачки, связанные с перескоками мод внешнего резонатора. Интервалы непрерывной перестройки частоты лазера, разделенные перескоками мод, составляют несколько ГГц и соответствуют области свободной дисперсии ECDL. Внутри некоторых областей непрерывной перестройки частоты лазера наблюдаются пики линейного поглощения, соответствующие переходам  $F_g=4 - F_e=3,4,5$  в  $^{133}\text{Cs}$ .

Изменение оптической длины собственного резонатора лазерного диода при сканировании тока инжекции позволяет в определенном диапазоне синхронизировать движение собственной и внешней мод составного резонатора лазера и тем самым увеличить диапазон непрерывной перестройки длины волны лазера с внешним резонатором. На рисунке 4 показан пример такого согласованного сканирования длины

внешнего резонатора и тока инжекции LD. Линии поглощения в парах цезия позволяют оценить диапазон непрерывной перестройки частоты лазера.



**Рис.4.** Пропускание ячейки с парами  $^{133}\text{Cs}$  при синхронном сканировании дифракционной решетки и тока ЛД.

Для получения максимального диапазона непрерывной перестройки частоты лазера последовательность действий такова:

- 1) установить рукоятку SCAN вблизи максимума;
- 2) установить рукоятку OFFSET в среднее положение;
- 3) рукоятку SWEEP ввести до уровня, при котором достигается максимальная длина непрерывного участка в выходной мощности лазера. При этом может потребоваться небольшая подстройка тока LD рукояткой LEVEL.

Следует отметить, что из-за определенной задержки пьезоэлемента в отклике на управляющий сигнал по отношению к току (степень задержки зависит от частоты и амплитуды сканирования) поведение лазера на разных склонах управляющего сигнала может отличаться.

### **Юстировка ECDL-8530RO.**

Ниже приведена последовательность действий, если выявлено, что требуется подъюстировка лазера. Также по ссылке можно посмотреть видео с примером юстировки [https://www.youtube.com/watch?v=NtuYDkxFnBU&feature=emb\\_logo](https://www.youtube.com/watch?v=NtuYDkxFnBU&feature=emb_logo).

1) Вставить П-образный ключ из ремкомплекта (Рис.4) в шлицевой паз горизонтальной оси дифракционной решетки.

2) Определить направление, в котором движение П-образного ключа приводит к уменьшению порогового тока. Для этого мягко понажимать на рычаг вверх и вниз.

3) Если движение рычага вниз (т.е. лазерный луч, отраженный от дифракционной решетки движется вверх) приводит к уменьшению порогового тока, то следует вращать фиксирующий винт (Рис.1, поз.5) по часовой стрелке. В противоположном случае фиксирующий винт следует слегка ослабить. Для вращения фиксирующего винта используется усиленный шестигранный (имбусовый) ключ 1.5 из ремкомплекта. Как правило, вращения на несколько градусов достаточно для восстановления режимов работы ECDL-8530RO.



**Рис.4. П-образный шлицевой ключ из ремонтного комплекта.**

4) После достижения минимума порога генерации установить, если требуется, необходимую длину волны горизонтальным юстировочным винтом (Рис.1, поз.6), доступ к которому возможен и при закрытой крышке оптической головки. Для вращения горизонтального юстировочного винта используется стандартный шестигранный ключ 1.5 из ремкомплекта.

Тест-протокол лазерного диода.

**Diode Laser – Data Sheet: SAL2-0850-100**

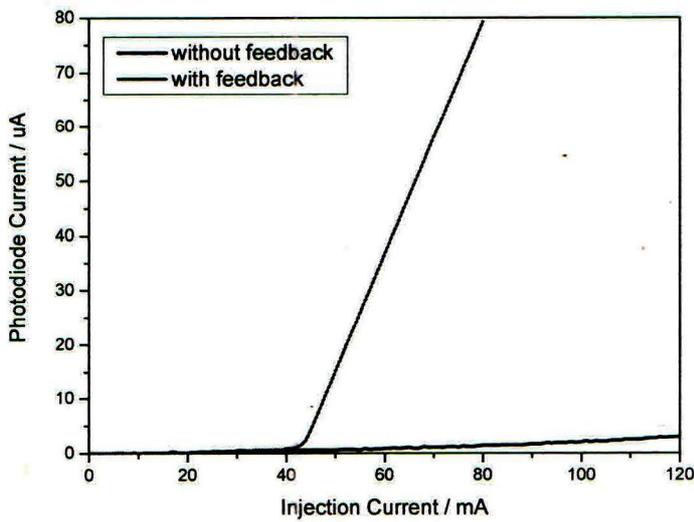
Description of the Laser Type:

**Ridge Waveguide Laser Diode for 850nm**

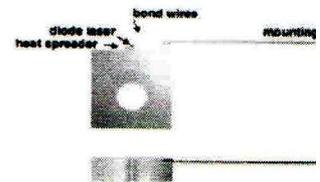
Specific Data of the Diode Laser:

Serial-No.: CA-01650  
Header: CMT02  
I-max: 200mA  
Polarity: positive  
Temperature: 25°C

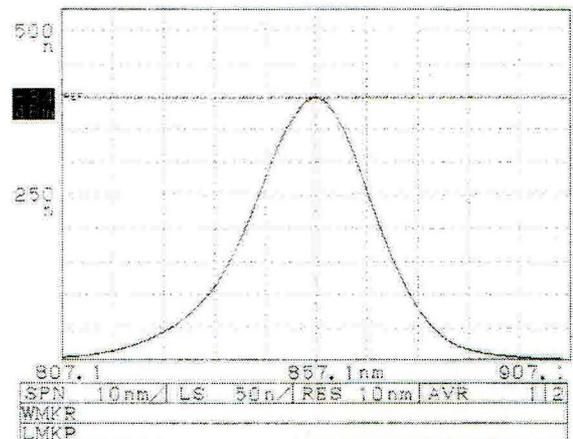
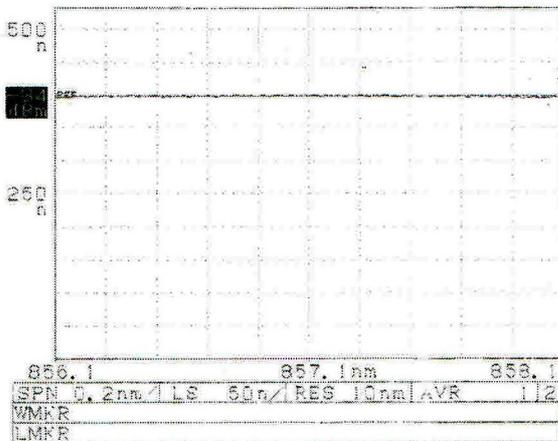
Laser current



Pin connection



Spectrum:



## Общие рекомендации по эксплуатации ECDL-8530RO.

1. Не пытайтесь изменить настройку выходного объектива. В случае деградации лазерного диода единый модуль диода и объектива должен заменяться целиком.

2. Не нарушайте последовательность включения и выключения лазера.

3. Не понижайте температуру лазерного диода ниже точки росы, это может привести к деградации лазерного диода. Температура лазерного диода может быть оценена из ТКС (температурный коэффициент сопротивления) термистора:

$$\text{ТКС} = - 4 \text{ \%}/^{\circ}\text{C} .$$

4. Используйте оптический изолятор для устранения паразитных отражений обратно в лазер.

5. Следуйте **золотому правилу**: ECDL как часть экспериментальной установки должен включаться последним и выключаться первым.

### Спецификация.

1. Длина волны	<b>852.1</b> нм
2. Выходная мощность (основной + дополнительный выход)	
@ 75 мА	15,5 + 3,7 мВт
@ <b>88</b> мА	<b>26 + 6,3</b> мВт
@ 109 мА	43 + 10 мВт
@ 123 мА	54 +13 мВт
3. Диапазон непрерывной перестройки	
by PZT only	7 ГГц
by PZT+LD current	30 ГГц
4. Диапазон грубой перестройки	$\pm 2$ нм
5. Поляризация	линейная вертикальная
6. Пучок	эллиптический $5 \times 1.5$ мм <sup>2</sup>
7. Пороговый ток	<b>58</b> мА
8. Рабочий ток	<b>88</b> мА
9. Максимальный рабочий ток	140 мА
10. Величина термосопротивления	<b>11.5</b> кОм
11. Размеры оптической головки	$51 \times 46 \times 35$ мм <sup>3</sup>
12. Вес оптической головки	120 г