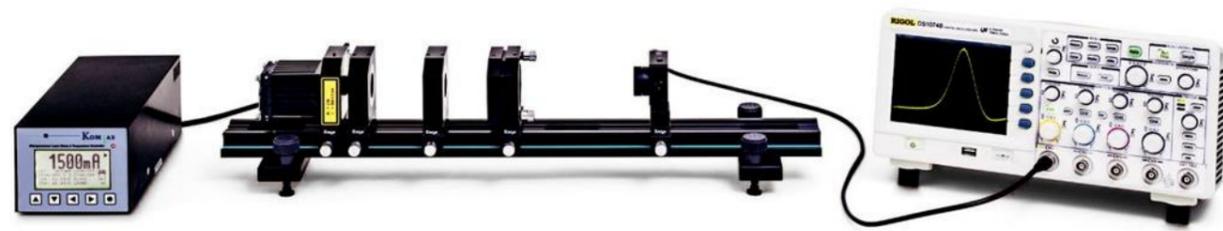


Лабораторная установка для проведения практических занятий по теме «Оптика»

МОДУЛЯЦИЯ ДОБРОТНОСТИ ЛАЗЕРА НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛА Nd:YAG (АЛЮМО-ИТТРИЕВЫЙ ГРАНАТ, ЛЕГИРОВАННЫЙ НЕОДИМОМ)



ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Настройка и оптимизация схемы модуляции добротности для лазеров на основе Nd:YAG с помощью модуля Cr:YAG.
- Регистрация импульсов и определение их длительности.

ЦЕЛЬ ОПЫТА

Лабораторная установка используется в учебных целях в университетах для исследования цепи модуляции добротности лазера на основе кристалла Nd:YAG с модулем Cr:YAG

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

Модуляция добротности лазера позволяет сформировать короткие импульсы высокой энергии. Она заключается в регулировании лазерного порога путем увеличения или уменьшения потерь в резонаторе. Вам нужно реализовать схему пассивной модуляции добротности с помощью модуля Cr:YAG, а затем записать изменение импульсов лазера со временем. Энергию импульсов можно рассчитать исходя из средней мощности и частоты их повторения

В комплект установки входит:

Кол-во	Наименование
1	Драйвер лазерного диода и двухканальный регулятор температуры Dsc01-2.5
1	Оптическая скамья модели KL
1	Диодный лазер мощностью 1000 мВт
1	Кристалл Nd:YAG
1	Пассивный электрооптический затвор
1	Лазерное зеркало I
1	PIN-фотодиод, быстродействующий
1	Фильтр RG850
1	Диод установочного лазера
1	Футляр для транспортировки модели KL
1	Защитные очки для работы с лазером на основе кристалла Nd:YAG
1	Универсальный цифровой измерительный прибор P3340
1	Цифровой осциллограф с частотой 4x60 МГц
1	Высокочастотный соединительный шнур, байонетный разъем/4-мм штекер
1	Высокочастотный соединительный шнур
1	Плата ИК-детектора

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ

Модуляция добротности (которую также называют формированием гигантских импульсов) позволяет получить короткие лазерные импульсы с высокой энергией, которые требуются, например, при обработке материалов. Она заключается в регулировании лазерного порога путем увеличения или уменьшения потерь в резонаторе. Когда потери высоки, это препятствует нарастанию колебания в резонаторе и вызывает накопление энергии накачки в кристалле лазера. После снижения потерь в резонаторе формируется лазерный импульс, интенсивность которого на несколько порядков выше интенсивности в непрерывном режиме. Разность между этим режимом и пиковым режимом заключается в том, что плотность инверсии заселенности при модуляции добротности превышает пороговое значение. Различают активную и пассивную модуляцию добротности. Пассивная модуляция добротности используется в поглотителях, в которых поглощающая способность может изменяться с помощью света в резонаторе. Активные устройства - это, как правило, акустооптические, электрооптические или механические переключатели, которые регулируют пропускание света извне.

Для использования поглощающего кристалла в качестве устройства пассивной модуляции добротности требуется, чтобы поглощение могло достигать насыщения. Это означает, что его эффективное поперечное сечение поглощения должно быть больше, чем сечение поглощения для света от атомов в возбужденном состоянии, а также то, что время жизни возбужденного уровня должно быть и длиннее продолжительности импульсов лазера, и короче периода их повторения. Всем этим критериям удовлетворяет кристалл Cr:YAG (алюмо-иттриевый гранат, легированный хромом). Чтобы полностью описать динамическую характеристику лазера с пассивной модуляцией добротности, скоростное уравнение для плотности инверсии заселенности n , достигаемой с помощью оптической накачки в кристалле Nd:YAG при плотности фотонов ρ в поле излучения лазера (см. опыт UE4070310), также должно учитывать плотность заселенности в основном состоянии кристалла Cr:YAG. Ввиду чрезвычайно быстрого возрастания плотности фотонов, и скоростью накачки, и скоростью спонтанного излучения можно пренебречь. Порог для плотности инверсии заселенности определяется следующим образом:

$$(1) \quad n_S = \frac{1}{\sigma \cdot c \cdot \tau_{res}}$$

τ_{res} : постоянная времени снижения плотности фотонов из-за потерь в резонаторе

σ : эффективное поперечное сечение излучения или поглощения фотона
 c : скорость света

Отсюда изменение плотности инверсии заселенности n и плотности фотонов ρ со временем определяются выражениями:

$$(2a) \quad \frac{dn}{dt} = -\frac{n}{n_S} - \frac{\rho}{\tau_{res}}$$

и

$$(2b) \quad \frac{d\rho}{dt} = -\frac{n}{n_S} - 1 \cdot \frac{\rho}{\tau_{res}}$$

При формировании гигантского импульса плотность инверсии заселенности приблизительно постоянна и остается почти равной начальной плотности инверсии заселенности:

$$(3) \quad n(t) = n_i$$

фотонов:

$$(4) \quad \rho(t) = \exp\left(\frac{n}{n_S} - 1\right) \cdot \frac{t}{\tau_{res}}$$

Плотность инверсии заселенности n_i для гигантского импульса намного

больше порога плотности инверсии заселенности n_S . Это означает, что время, которое требуется для увеличения плотности фотонов, намного короче, чем постоянная времени τ_{res} потерь в резонаторе. Другой ключевой момент времени достигается, когда плотность инверсии заселенности возвращается к пороговому уровню. Тогда плотность фотонов в выражении (2b) перестает меняться, т.е. лазерные фотоны больше не генерируются. Тогда из выражения (2a) получаем:

$$(5) \quad \frac{dn}{dt} = -\frac{\rho_{max}}{\tau_{res}} \quad \text{где } \rho(t) = \rho_{max}$$

Поэтому плотность фотонов падает, после того как достигает своего максимума, при этом постоянная времени этого падения равна постоянной времени потерь в резонаторе.

Максимальное значение плотности фотонов определяется выражением:

$$(6) \quad \rho_{max} = n_S \cdot \ln \frac{n}{n_i} - (n_S - n_i)$$

Это означает, что лазеры с верхним лазерным уровнем, который имеет очень короткое время жизни, т.е. которые имеют очень маленькую избыточную плотность инверсии заселенности, не дают какого-либо существенного увеличения выходной мощности в импульсном режиме. В этом опыте модуль на основе кристалла Cr:YAG добавляется к резонатору, и тонкая настройка лазера проводится заново. Сигнал лазера измеряется с помощью PIN-диода и отслеживается на осциллографе.

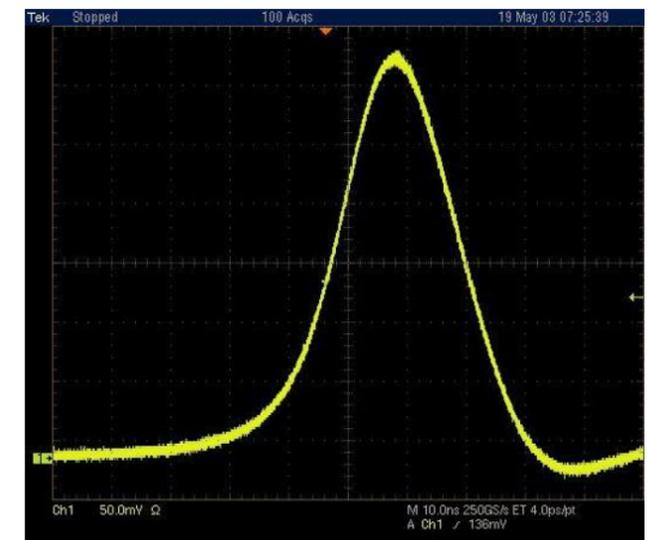


Рис. 1: Зависимость импульса от времени для лазера на основе кристалла Nd:YAG с пассивной модуляцией добротности