

Балтийский государственный технический университет
“ВОЕНМЕХ” им. Д.Ф.Устинова

Кафедра И1
“Лазерная техника”

Отчет по производственной практике на тему:

1. Обзор возможностей лазера и технологии записи статичных
брэговских отражательных решеток.
2. Активный затвор на эффекте Поккельса

Выполнил:
студент группы И1М31
Колосова Т.В.
Проверил:
Погода А.П.

Содержание

Введение.....	3
1. Модуляция добротности.....	4
2. Эффект Поккельса.....	7
3. Активный затвор, основанный на эффекте Поккельса.....	12
Заключение.....	15

Введение

Одним из основных режимов работы твердотельных лазеров является режим генерации "гигантского" импульса. В данном режиме в твердотельном лазере осуществляется активная или пассивная модуляция добротности резонатора. Идея использования модуляции добротности резонатора с импульсной накачкой для получения мощных и коротких световых импульсов была реализована в 1962 г. Для предотвращения лазерной генерации в процессе накачки в резонатор вводятся элементы (затворы), управляющие его добротностью. Затворы по сути дела управляют моментами времени, когда начинают выполняться условия самовозбуждения лазера (баланса амплитуд и фаз).

Применяются различные типы модуляторов: оптико-механические, электрооптические и акустооптические. В данной работе будет рассмотрен активный затвор на основе эффекта Поккельса. Данный активный затвор входит в разряд электрооптических затворов.

1. Модуляция добротности

Режим модулированной добротности реализуется при импульсной работе лазера, когда за сравнительно большой промежуток времени за счет энергии накачки происходит значительное накопление частиц на верхнем рабочем уровне активного вещества, а излучение происходит в виде очень коротких импульсов с высокой пиковой мощностью ("гигантских" лазерных импульсов). Мощность гигантского импульса тем больше, чем значительнее превышение начальной инверсной заселенности (реализуемой в условиях низкой добротности резонатора) над пороговым значением инверсной заселенности (отвечающим высокой добротности резонатора).

Идея заключается в том, что сначала обеспечивается высокий уровень вредных потерь, а затем уровень потерь быстро понижается до минимального значения. Специально поднятый вредными потерями порог генерации позволяет создать значительную инверсию населенности в активной среде, когда же порог генерации быстро снижается до минимально возможного значения, то оказывается, что начальная величина инверсной заселенности существенно выше нового порога, и из-за этих условий формируется единичный короткий световой импульс большой мощности вместо последовательности пиков. Если затвор «открыт», то потери низки (добротность резонатора высока); если затвор «заперт», то потери высоки (добротность резонатора низка). Очевидно, что переходы оптического затвора из «запертого» состояния в «открытое» должны быть синхронизированы с импульсами накачки: затвор должен «открываться» после того, как достигнута достаточно высокая инверсная населенность рабочих уровней.

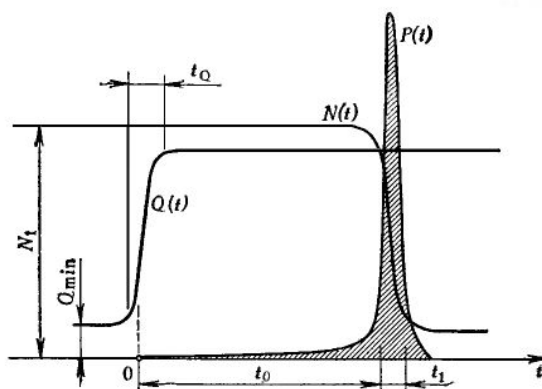


Рис. 1.1. Процесс развития гигантского импульса при активной модуляции добротности резонатора

На рисунке 1.1 показан процесс развития гигантского импульса при активной модуляции добротности резонатора; кривая $P(t)$ описывает изменение во времени мощности генерируемого излучения. Там же показано изменение во времени добротности резонатора (кривая $Q(t)$) и плотности инверсной заселенности (кривая $N(t)$). В исходном состоянии имеем низкую добротность ($Q=Q_{\min}$) и высокую начальную плотность инверсной заселенности ($N=N_1$). Под воздействием управляющего сигнала добротность Q начинается возрастать, и, соответственно, начинает уменьшаться пороговое значение плотности инверсной заселенности (оно на рисунке не показано). Как только порог, уменьшаясь, сравнивается с величиной N_1 , начнется процесс генерации; этот момент представлен на рисунке в качестве начального момента ($t=0$). Из рисунка видно, что процесс генерации импульса состоит из двух этапов: относительно длинного этапа медленного (линейного) развития импульса (длительность этого этапа $t_0 \sim 100$ нс) и короткого этапа быстрого (нелинейного) развития (длительность этапа $t_1 \sim 10$ нс). Почти вся энергия импульса высвечивается на втором этапе, поэтому длительность гигантского импульса принято измерять по длительности указанного этапа (по величине t_1). Уменьшение инверсной заселенности происходит практически лишь на этапе быстрого развития импульса.

Обозначим через t_q промежуток времени, в течение которого добротность возрастает от наименьшего до наибольшего значения (время включения добротности). Если $t_q \ll t_0$, то говорят о быстром включении добротности; рисунок соответствует именно такому случаю. Процесс развития импульса при быстром включении добротности обычно рассчитывают, полагая для простоты, что добротность возрастает мгновенно. Если время t_q порядка t_0 , то необходимо учитывать конкретную скорость возрастания добротности. При достаточно медленном включении добротности картина генерации качественно меняется: вместо единичного импульса могут высвечиваться несколько импульсов с постепенно уменьшающейся мощностью и возрастающей длительностью (пример приведен на рис.). Временной интервал между импульсами постепенно нарастает, изменяясь от 100 нс до 1 мкс.

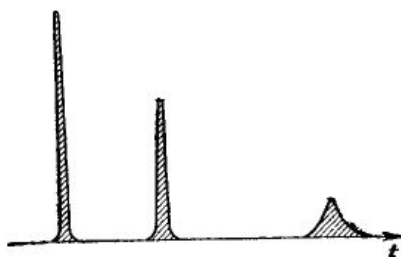


Рис. 1.2. Зависимость мощности импульса от времени при большом времени включения добротности

В активных затворах в резонатор помещают модулятор (переключатель потерь), управляемый внешним сигналом. Под воздействием сигнала изменяется пропускание затвора, а, следовательно, и потери в резонаторе.

2. Эффект Поккельса

Эффектом Поккельса называется изменение показателя преломления света в кристалле под действием электрического поля, причем это изменение пропорционально напряжённости электрического поля, то есть эффект носит линейный характер. Как следствие эффекта Поккельса в кристалле появляется двойное лучепреломление или меняется его величина, если кристалл был двулучепреломляющим в отсутствие поля. Изменение показателя преломления кристаллов под действием внешнего электрического поля происходит исключительно за счёт анизотропных свойств кристаллов. Под действием постоянного электрического поля электроны смещаются в сторону того или иного иона, при этом изменяется поляризуемость среды и связанный с ней показатель преломления.

Эффект Поккельса может наблюдаться только в кристаллах, не обладающих центром симметрии. Вследствие линейности эффекта относительно внешнего поля $E_{эл}$ при изменении направления поля на противоположное должен меняться на противоположный и знак изменения показателя преломления Δn , но в кристаллах с центром симметрии оба взаимно противоположных направления внешнего поля физически эквивалентны. Так как эффект Поккельса связан с изменением электронной поляризуемости под действием электрического поля, то он практически безынерционен — быстродействие устройств на его основе меньше 10^{-9} с.

Если кристалл поместить между двумя скрещенными поляроидами таким образом, что в отсутствие внешнего электрического поля пропускание света системой будет равно нулю, то при подаче на кристалл внешнего поля появится наведенное двулучепреломление, которое

изменит поляризацию прошедшего через кристалл света, и такая система начнет пропускать свет.

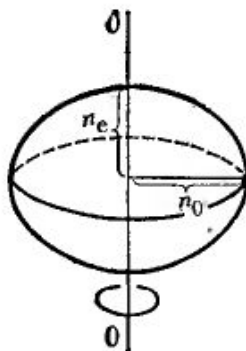


Рис. 2.1. Оптическая индикатрисса кристалла до подачи напряжения

На рис. 2.1 изображена оптическая индикатрисса одноосного кристалла, представляющая собой эллипсоид вращения вокруг оптической оси OO' ; n_o и n_e - показатели преломления для обыкновенной и необыкновенной волн соответственно. При приложении к кристаллу внешнего электрического поля, направленного по оси OO' , оптическая индикатрисса кристалла превратится из эллипсоида вращения в трехосный эллипсоид (кристалл превратиться из одноосного в двухосный).

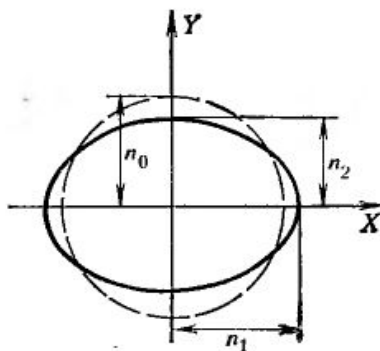


Рис. 2.2. Оптическая индикатрисса кристалла после подачи напряжения

На рис. 2.2 показаны сечения оптической индикатриссы плоскостью, перпендикулярной оси OO' (перпендикулярной к оси приложенного поля). Штриховая линия - до включения поля, непрерывная - после включения поля. Главные показатели преломления после включения n_1 , n_2 , n_e ,

главные диэлектрические оси - X, Y, Z (перпендикулярна плоскости рисунка).

Эффект Поккельса описывается в данном случае соотношениями:

$$n_1 = n_0 + n_0^3 r \frac{E}{2}; \quad n_2 = n_0 - n_0^3 r \frac{E}{2}$$

где E - напряженность электрического поля, r - одна из электрооптических постоянных кристалла.

Будем рассматривать продольный эффект Поккельса - свет распространяется вдоль направления поля (перпендикулярно плоскости рис.). В этом случае внутри кристалла будут распространяться две линейно-поляризованные волны, поляризации которых направлены вдоль осей X (скорость волны $\frac{c}{n_1}$) и Y (скорость волны $\frac{c}{n_2}$). Тогда можно найти разность фаз указанных волн после прохождения светом пути l в кристалле:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi l(n_1 - n_2)}{\lambda_0} = \frac{2\pi n_0^3 r U}{\lambda_0}$$

где λ_0 - длина волны света в вакууме, $U=El$ - напряжение, приложенное к кристаллу, l - длина кристалла по оси OO'.

Для кристаллов DKDP $r = 2,6 \cdot 10^{-11}$ м/В.

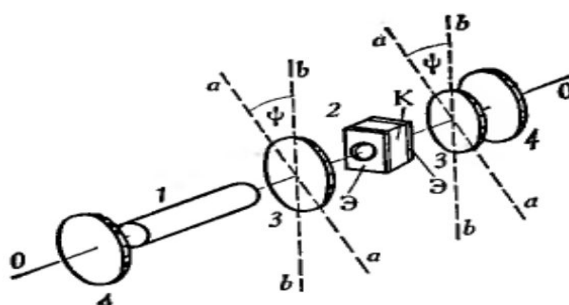


Рис. 3.1. Активный затвор, основанный на эффекте Поккельса

1 - активный элемент, 2 - ячейка Поккельса, К - кристалл DKDP, Э - электроды, 3 - линейные поляризаторы, 4 - зеркала резонатора.

На рис. 3.1 приведена схема лазера с модуляцией добротности на основе продольного эффекта Поккельса. Направление поляризации света,

прошедшего через поляризатор (направление aa) составляет угол ψ с направлением главной диэлектрической оси кристалла X (направление bb).

Предположим, что на кристалл подано напряжение (ячейка Поккельса включена). В этом случае световые волны с поляризациями вдоль оси X и оси Y окажутся после прохождения ячейки сдвинутыми по фазе друг относительно друга на величину $\Delta\phi$. В результате линейно-поляризованный световой пучок, входящий в ячейку Поккельса, превратится на выходе из ячейки в эллиптически поляризованный пучок.

Пусть на ячейку подано напряжение, при котором $\Delta\phi = \pi$. Такое напряжение называется полуволновым напряжением и обозначается как

$$U_{\frac{\lambda}{2}}. \text{ Численно оно будет равняться } U_{\frac{\lambda}{2}} = \frac{\lambda_0}{2n_0^3 r}.$$

При использовании полуволнового напряжения поляризация на выходе из ячейки остается линейной, но при этом направление поляризации оказывается повернутым на угол 2ψ относительно исходного направления. Подробнее схема такого поворота представлена на рис.3.2.

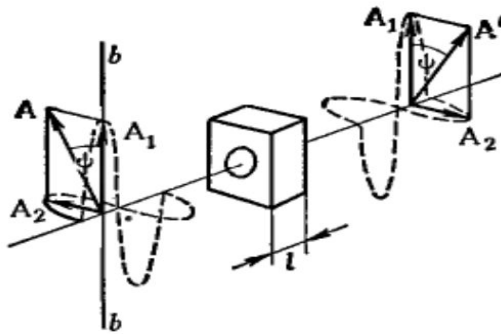


Рис. 3.2. Поляризация при использовании $U_{\frac{\lambda}{2}}$

Здесь A - амплитудный вектор световой волны на входе ячейки, A' - на выходе. Представим входящую в ячейку волну как суперпозицию двух линейно-поляризованных волн - с показателем преломления n_1 (амплитудный вектор A_1) и с показателем преломления n_2 (амплитудный вектор A_2). Так как при $U = U_{\frac{\lambda}{2}}$ указанные волны, проходя через ячейку, сдвигаются друг относительно друга на половину длины волны, то один из

амплитудных векторов (вектор A_1 или вектор A_2) должен изменить свое направление на противоположное.

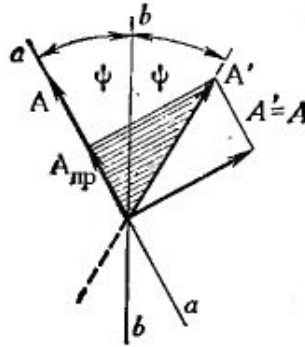


Рис. 3.3. Изменение направления поляризации при $U_{\frac{\lambda}{2}}$

Вследствие поворота направления поляризации на угол 2ψ световая волна, вышедшая из ячейки Поккельса, сможет лишь частично пройти через второй поляризатор. Интенсивность волны, прошедшей через второй поляризатор $A_{пр}$, связана с интенсивностью волны, прошедшей через первый поляризатор $A_{нач}$ соотношением (см. рис. 3.3):

$$\left(\frac{A_{пр}}{A_{нач}} \right)^2 = \cos^2 2\psi$$

Таким образом, включение ячейки Поккельса в схему приводит к увеличению потерь по сравнению со случаем, когда ячейка выключена. Максимальная степень повышения потерь при включении ячейки достигается при $\psi = \frac{\pi}{4}$, в этом случае $A_{пр} = 0$ - затвор полностью заперт. При выключении ячейки Поккельса (при снятии напряжения с ее электродов) реализуется быстрое и значительное увеличение добротности резонатора.

3. Активный затвор, основанный на эффекте Поккельса

Для активного затвора на основе эффекта Поккельса есть две принципиальные схемы работы – четвертьволновая схема и полуволновая схема.

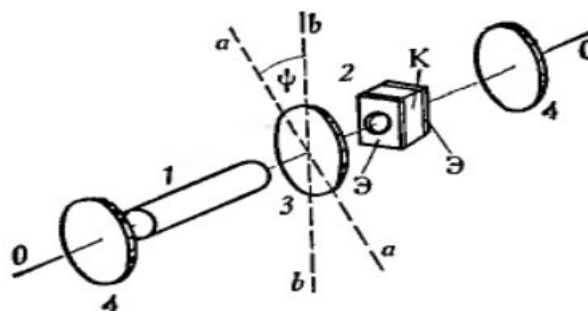


Рис. 3.1. Четвертьволновая схема.

Обобщенная концепция установки для четвертьволновой схемы представлена на рисунке 3.1. На чертеже изображен резонатор, внутри которого находятся, помимо активной среды, один поляризатор и кристалл DKDP, подключенный к пульту управления, в котором и происходит эффект Поккельса.

При применении четвертьволновой схемы на кристалл DKDP подается напряжение $U_{\frac{\lambda}{2}} = \frac{\lambda_0}{2n_0^3r}$ для открытого затвора и $U_{кр} = \frac{\lambda_0}{4n_0^3r}$ для закрытого затвора.

1. Затвор закрыт. Излучение, выходя из активной среды, проходит поляризатор и становится линейно-поляризованным, с отклонением на угол α от вертикали. Далее, оно проходит через кристалл DKDP, меняя свою поляризацию на круговую. Далее излучение отражается от закрытого зеркала и снова проходит через кристалл DKDP, снова изменяя свою поляризацию на линейную, с отклонением на угол 2α от исходной линейной поляризации, повышая тем самым уровень вредных потерь.

2. Затвор открыт. Излучение, выходя из активной среды, проходит поляризатор и становится линейно-поляризованным, с отклонением на угол α от вертикали. Далее, оно проходит через кристалл DKDP, меняя свою поляризацию на линейную, с отклонением на угол 2α от исходной линейной поляризации. Далее излучение отражается от закрытого зеркала и снова проходит через кристалл DKDP, снова изменяя свою поляризацию на линейную, возвращая себе исходный наклон поляризации, то есть беспрепятственно выходя из поляризатора. Уровень вредных потерь минимален.

Кроме того существуют вариант этой схемы с фазовой пластинкой. Использование фазовой пластинки позволяет избежать наличия постоянного запирающего смещения на двулучепреломляющем кристалле. Присутствие высоковольтного запирающего смещения способствует протеканию электрохимических процессов в кристалле модулятора, что, в конечном итоге, приводит к его повреждению.

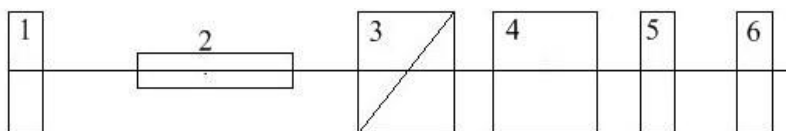


Рис. 3.2. Оптическая схема четвертьволновой ячейки Поккельса с фазосдвигающей пластинкой: 1 — выходное зеркало; 2 — активный элемент; 3 — поляризатор; 4 — электрооптический кристалл; 5 — четвертьволновая пластина; 6 — глухое зеркало

Недостатком данной оптической схемы является некоторое усложнение процесса юстировки по сравнению со схемой, не содержащей четвертьволновой пластинки. Кроме того, требуемая точность изготовления фазовой пластинки достаточно высокая. Однако отсутствие постоянного запирающего напряжения амплитудой в несколько киловольт является существенным достоинством данного технического решения.

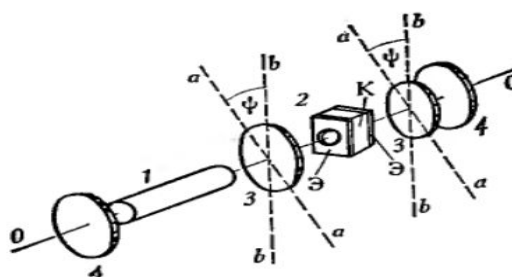


Рис. 3.3. Полуволновая схема

Обобщенная концепция установки для полуволновой схемы представлена на рисунке 3.3. На чертеже изображен резонатор, внутри которого находятся, помимо активной среды, два поляризатора и кристалл DKDP, подключенный к пульту управления.

При применении четвертьволновой схемы на кристалл DKDP подается напряжение $U_{2\pi} = \frac{\lambda_0}{n_0^3 r}$ для открытого затвора и $U_{\frac{\lambda}{2}} = \frac{\lambda_0}{2n_0^3 r}$ для закрытого затвора.

1. Затвор закрыт. Излучение, выходя из активной среды, проходит первый поляризатор и становится линейно-поляризованным, с отклонением на угол α от вертикали. Далее, оно проходит через кристалл DKDP, получая линейную поляризацию с отклонением на угол 2α от исходной поляризации, повышая тем самым уровень вредных потерь, т.к. лишь часть излучения пройдет через второй поляризатор.

2. Затвор открыт. Излучение, выходя из активной среды, проходит первый поляризатор и становится линейно-поляризованным, с отклонением на угол α от вертикали. Далее, оно проходит через кристалл DKDP, получая линейную поляризацию с отклонением на угол α от вертикали. Так как ось поляризации волны совпадает с осью поляризации выходного поляризатора, то излучение полностью пройдет — уровень вредных потерь снизится до минимального значения.

Заключение

Использование затворов позволяет добиться мощных и коротких световых импульсов, а использование активного затвора позволяет получать большие энергии импульса, чем при использовании пассивного затвора, а также дает возможность контролировать время между пичками, в то время как при использования пассивного затвора просветление наступает в независимый от экспериментатора момент.

В данной работе были рассмотрены различные схемы работы активных затворов на основе эффекта Поккельса, а также рассмотрены эффекты, связанные с их работой.