

АМПЛИТУДНАЯ МОДУЛЯЦИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ НА БАЗЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ МОДУЛЯЦИИ И МНОГОЛУЧЕВОЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ В КОЛЬЦЕВОМ РЕЗОНАТОРЕ

В.А. Пилипович, А.И. Конойко, А.М. Поликанин

Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск

Существующие в настоящее время оптические схемы много лучевых интерферометров типа Фабри-Перо, которые можно применять для целей амплитудной модуляции лазерного излучения предполагают наличие частично прозрачных зеркал для ввода излучения в интерферометр (резонатор) [1-3], что приводит к невысокой эффективности их работы. Эти зеркала обуславливают большие световые потери. Поэтому представляет интерес рассмотреть метод низковольтной высокоэффективной амплитудной модуляции лазерного излучения на базе фазовой и поляризационной модуляции при помощи электрооптического эффекта и многолучевой интерференции в кольцевом резонаторе. Причем ввод излучения в такой резонатор реализуется практически без потерь при помощи голографического элемента представляющего собой одинарную брэгговскую голографическую решетку [4], обладающую высокой дифракционной эффективностью.

В настоящей работе рассмотрены особенности функционирования кольцевых лазерных затворов на базе поляризационной модуляции и многолучевой интерференции. Предложены схемы оптических затворов предназначенных как для модуляции добротности лазерных резонаторов, так и для внerezонаторной амплитудной модуляции лазерного излучения, обеспечивающие высокую эффективность модуляции при низкой величине управляющего напряжения, которое будет составлять величину в 12 раз меньшую, чем у существующих лазерных затворов.

Для проверки оптической схемы и функционирования устройства использовали брэгговскую голографическую решетку, обеспечивающей ввод энергии светового пучка с минимальными потерями в оптический резонатор. Решетка была записана на разработанном светочувствительном материале на основе полимерной композиции.

Оптическая схема такого кольцевого лазерного затвора изображена на рис. 1. Она содержит: первый вращатель плоскости поляризации на угол 45° 1 на базе двулучепреломления; второй вращатель плоскости поляризации на угол 45° 2, осуществляющий вращение плоскости поляризации проходящего светового пучка только в одном направлении; голографический элемент 3, сформированный на основании равнобедренной треугольной призмы 4; поляризационный элемент 5, который выполнен, на-

пример, в виде призмы Глана из исландского шпата CaCO_3 ; первый 6, второй 8 и третий 9 отражатели; электрооптический элемент 7. Электрооптический элемент выполнен на базе электрооптического кристалла LiNbO_3 в виде прямоугольной призмы с поперечным приложением электрического поля. Входная и выходная грани кристалла просветлены, а оптическая ось электрооптического элемента ориентирована к плоскости поляризации проходящей световой волны под углом 45° .

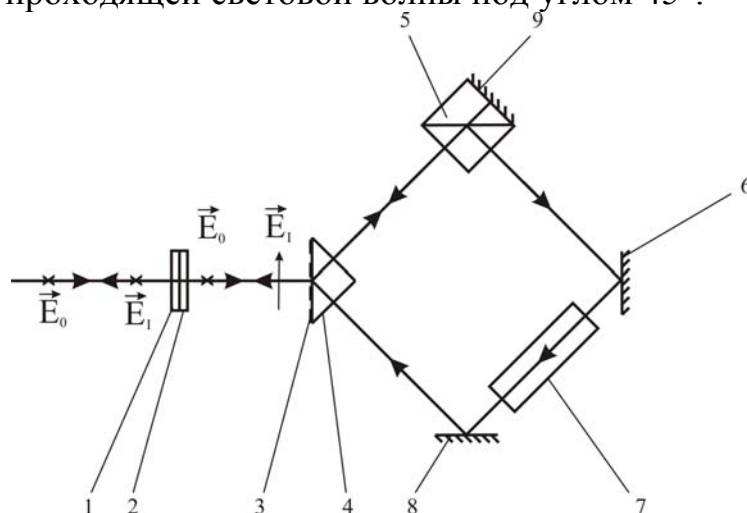


Рис. 1. Оптическая схема лазерного затвора на базе многолучевой интерференции и поляризационной модуляции

Кольцевой лазерный затвор на базе поляризационной модуляции и многолучевой интерференции работает следующим образом.

Пусть на вход рассматриваемого лазерного затвора (рис. 1), который одновременно является и выходом, поступает монохроматический световой пучок с плоским волновым фронтом. Считаем, что амплитуда волны E_0 , ориентированна перпендикулярно главной плоскости равнобедренной треугольной призмы. Вследствие того, что в прямом ходе вращатели плоскости поляризации 1 и 2 поворачивают плоскость поляризации проходящей световой волны свою ориентацию не изменит. После чего световая волна поступает на брэгговскую решетку нанесенную на входную грань равнобедренной треугольной призмы, где в результате дифракции отклоняется на угол равный двум углам Брэгга (2β). После последовательного прохождения через поляризационный элемент, первый и второй электрооптические элементы отражения от первого и второго отражателей световая волна опять поступает на входную грань равнобедренной треугольной призмы под углом равным 2β , поэтому испытывает полное внутреннее отражение и поступает на новый виток прохождения.

Суммарная амплитуда световой волны в кольцевом многолучевом интерферометре перед поляризационным элементом может быть найдена из следующего выражения.

$$E_k = \frac{E_0 \sqrt{\eta T_4}}{1 - \sqrt{T_4 T_5 T_7 R_6 R_8} e^{i\delta}}; \quad (1)$$

где δ – разность фаз наводимая между интерферирующими световыми пучками; η – дифракционная эффективность брэгговской решетки; T_4, T_5, T_7 – коэффициенты пропускания, соответственно, равнобедренной треугольной призмы, поляризационного элемента, управляемого фазового элемента; R_6, R_8 – коэффициенты отражения, соответственно, первого, второго отражателей. Тогда выражение для суммарной интенсивности света перед поляризационным элементом будет иметь следующий вид:

$$I_k = \frac{I_0 \eta T_4}{1 + T_4 T_5 T_7 R_6 R_8 - 2\sqrt{T_4 T_5 T_7 R_6 R_8} \cos \delta}; \quad (2)$$

При подаче на электроды первого электрооптического элемента электрического напряжения вследствие того, что оси наведенной анизотропии электрооптического материала повернуты относительно вектора поляризации световой волны на угол 45° , на его выходе ортогонально поляризованные составляющие световой волны приобретут разность фаз равную Γ [5]. Это приведет к возникновению световой волны поляризованной ортогонально световой волне, падающей на рассматриваемый лазерный затвор, что приведет к выводу излучения при помощи поляризационного элемента к третьему отражателю. Отразившись от третьего отражателя, световая волна проходит в обратном направлении поляризационный элемент, первый электрооптический элемент и выводится при помощи равнобедренной треугольной призмы с брэгговской решеткой к вращателям плоскости поляризации. В этом случае они поворачивают плоскость поляризации возвращающейся световой волны на угол 90° . Поэтому плоскости поляризации входной и выходной световой волны совпадают. В итоге на выходе рассматриваемого лазерного затвора мы будем иметь световой пучок с интенсивностью, величину которой можно определить из следующего выражения:

$$I = I_k \eta T_4 T_5^2 R_9 \sin^2 \left(\frac{\Gamma}{2} \right) = \frac{I_0 \eta^2 T_4^2 T_5^2 R_9 \sin^2 \left(\frac{\Gamma}{2} \right)}{1 + T_4 T_5 T_7 R_6 R_8 - 2\sqrt{T_4 T_5 T_7 R_6 R_8} \cos \delta}; \quad (3)$$

На рис. 2 представлены расчетные зависимости интенсивности света в кольцевом многолучевом интерферометре I_k от разности фаз между ин-

терферирующими световыми пучками δ (а); общий вид (б) и увеличенный вид (в) начального участка зависимости интенсивности света на выходе лазерного затвора I от разности фаз Γ , наводимой электрооптическим элементом, для следующих значений параметров: $I_0=1$; $\eta=0,9$; $T_4=0,99$; $T_5=T_7=0,96$; $R_6=R_8=R_9=0,99$.

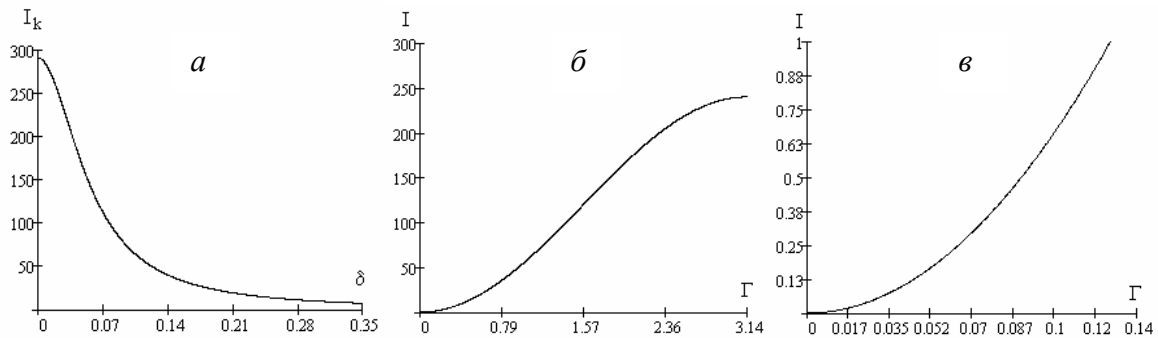


Рис. 2. Зависимости величин интенсивностей света внутри кольцевого лазерного затвора I_k – а) и на его выходе I – б) и в) от разности фаз, соответственно, между интерферирующими световыми пучками δ и наводимой первым электрооптическим элементом Γ

В этом случае наводимая в первом электрооптическом элементе разность фаз Γ может изменяться от 0 до π . Максимальная величина интенсивности света на выходе такого лазерного затвора составит порядка $I=240 \cdot I_0$. Для случая, когда $I = I_0$ наводимая в первом электрооптическом элементе требуемая разность составит порядка $7^\circ 30'$. Требуемая для этого величина управляющего напряжения составит порядка $U_{\lambda/2}/24$, что в 12 раз меньше чем у существующих лазерных затворов.

Таким образом, рассмотренный кольцевой лазерный затвор на базе поляризационной модуляции и многолучевой интерференции позволяет осуществлять высокоэффективную амплитудную модуляцию оптического излучения за счет решения вопроса существенного уменьшения потерь излучения, при вводе его в кольцевой резонатор. Это достигается путем ввода в оптическую систему голографического элемента, образованного одной объемной голографической решеткой, штрихи которой ориентированны в главной – плоскости по отношению к нормали под углом равным β , где β – угол Брэгга, и вывода излучения из кольцевого резонатора при помощи поляризационной амплитудной модуляции.

1. Нагибина И.М. Интерференция и дифракция света. Л.: Машиностроение, 1985. 332 с.
2. Вольф Э., Борн М. Основы оптики. Пер. с англ. М.: Наука, 1973. С.297–305.
3. Дитчберн Р. Физическая оптика. Пер. с англ. М.: Наука, 1965. С.121–124.
4. Кольер Р., Беркхарт К., Лин Л. Оптическая голография. М.: Мир. 1973. 686 с.