

ЗАТВОРЫ КЕРРА С МАЛЫМИ ПОТЕРЯМИ И ВЫСОКИМ КОНТРАСТОМ

В. А. Бойко, С. М. Захаров, С. А. Пиквз, А. Я. Фаенов

УДК 621.378.325

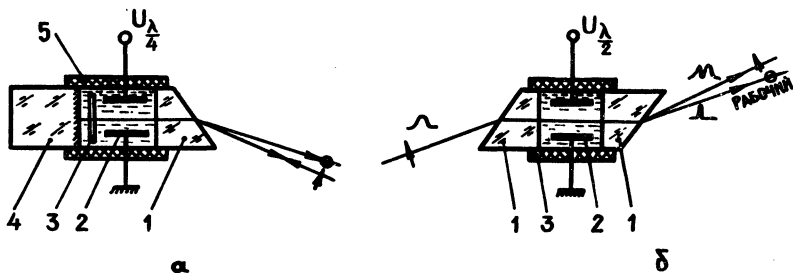
Описаны простые конструкции затворов Керра для модуляции добротности в генераторах на неодимовом стекле и формирования импульсов излучения с длительностью  $\sim 1$  нс и с высокими параметрами.

При создании мощных лазерных систем, например, для получения многозарядных ионов высокой кратности ионизации, для исследований по управляемому термоядерному синтезу, существенное внимание уделяется разработке электрооптических затворов, формирующих излучение с предельными параметрами. Основными характеристиками затворов, определяющими возможность их использования в мощных установках, являются: светопропускание, контраст (отношение пропускания в открытом и закрытом состоянии), стойкость к излучению.

В настоящей работе будут описаны простые конструкции затворов Керра для модуляции добротности в генераторах на неодимовом стекле и формирования импульсов излучения длительностью  $\sim 1$  нс с высокими параметрами.

На рис. 1а изображена конструкция модулирующего затвора. Поляризатором затвора является клин (1) из монокристаллического кварца, установленный непосредственно в нитробензоле. Клин срезан под углом Брюстера так, что необыкновенный луч имеет ту поляризацию, на которой происходит генерация. При отсутствии на электродах (2) ячейки напряжения необыкновенный луч, пройдя через кварц, попадает на четвертьволновую пластинку (3) из слюды. После отражения от 100% диэлектрического зеркала (4) также установленного в нитробензоле, свет снова проходит слюду и, так как его поляризация соответствует теперь обыкновенному лучу в кварце, отклоняется от первоначального направления из-за разности показателей преломления. Аналогичное действие ячейка оказывает и на обыкновенный луч. Разность показателей преломления для обыкновен-

ного и необыкновенного лучей на длине волны  $1,06 \text{ мкм}$  равна  $0,01$  и отклонение лучей составляет  $0,01 \text{ рад} \approx 40'$ , так как  $d\varphi = (dn/n)tg\varphi = dn$  для угла Брюстера. Таким образом, резонатор при отсутствии напряжения надежно закрыт по обеим поляризациям. При

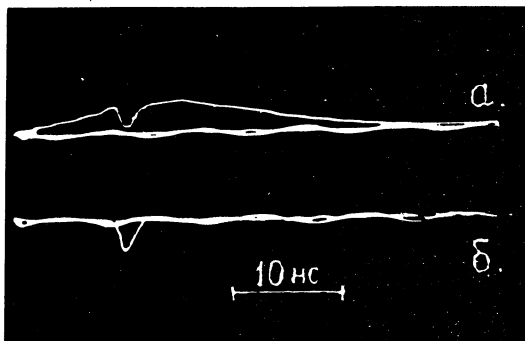


Р и с. 1. а) Модулирующий затвор Керра: 1 - кварцевый клин, 2 - электроды, 3 - четвертьволновая пластинка слюды, 4 - 100% диэлектрическое зеркало, 5 - корпус из фторопласта. б) Формирующий затвор Керра: 1 - кварцевые клинья, 2 - электроды, 3 - корпус из фторопласта

подаче напряжения на ячейку действие слюдяной пластинки компенсируется эффектом Керра и возникает генерация. Так как в затворе отсутствуют отражающие поверхности, потери определяются только поглощением в нитробензоле и очень малы.

На рис. 1б изображена конструкция затвора для формирования коротких лазерных импульсов длительностью  $\sim 1 \text{ нс}$  с высоким контрастом. В этом случае используются два поляризатора из кварцевых клиньев. Оптические оси клиньев лежат в плоскости рисунка и перпендикулярны лучу, проходящему через ячейку. Длина электродов и подаваемое на них напряжение подбирается так, чтобы плоскость поляризации поворачивалась на  $\pi/2$ . При отсутствии напряжения действие ячейки аналогично действию обычной плоскопараллельной пластинки. После подачи напряжения на электроды, выходящий из ячейки луч имеет поляризацию, перпендикулярную к поляризации входящего и отклоняется от первоначального направления на  $40'$ . Именно этот луч является рабочим и направляется дальше в

каскады усиления. Так как клинья срезаны под углом Брестера, то потери появятся только в результате отражения от выходной поверхности. Для ликвидации потерь выходной клин может быть повернут на  $90^\circ$ , однако это несколько усложнит отстройку затвора в

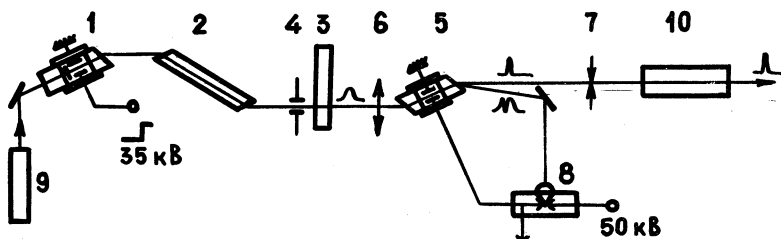


Р и с. 2. Осциллограммы на выходе формирующего затвора: а) в рабочем пучке, б) в нерабочем пучке

лазерной установке. Контраст описанного затвора определяется практически только качеством кварца и достигает  $\sim 10^6$ . Такое значение контраста практически недостижимо в других типах затворов, так как обычно между скрещенными поляризаторами всегда имеются деполаризующие элементы — окошки ячеек Керра или кристаллы затворов Погкельса. Характерные осциллограммы на выходе формирующей ячейки представлены на рис. 2.

Рассмотренные выше конструкции использовались в мощной одноканальной лазерной установке на неодимовом стекле с помощью которой проводились эксперименты по нагреву плазмы и исследования рентгеновских спектров многозарядных ионов /1/. Установка включала в себя задающий генератор, схему формирования короткого импульса и семь каскадов усиления (см. рис. 3). В качестве активного элемента задающего генератора использовался стержень из неодимового стекла ЛТС-228-2 (  $\varnothing$  15 мм, длина 260 мм), с торцами, срезанными под углом Брестера (см. рис. 3). Активный элемент помещался в специально сконструированном осветителе с плотной

компоновкой. Резонатор задающего генератора был образован 100% диэлектрическим зеркалом и плоскопараллельной стеклянной пластиной. Для селекции поперечных мод в резонаторе на расстоянии 1,5 см от выходного зеркала устанавливалась диафрагма диаметром



Р и с. 3. Схема лазерной установки. 1 - модулирующий затвор Керра, 2 - активный элемент, 3 - плоскопараллельная пластина, 4 - диафрагма диаметром 2 мм, 5 - формирующий затвор Керра, 6 - положительная линза  $f = 50$  см, 7 - диафрагма-пространственный фильтр диаметром 0,1 мм, 8 - разрядник с лазерным поджигом, 9 - истривовочный Ne-He - лазер, 10 - каскады усиления (6 осветителей со стержнем  $\varnothing 45$  мм, выходной каскад со стержнем  $\varnothing 60$  мм)

2 мм. Истировка резонатора осуществлялась в излучении неон-гелиевого лазера. Благоприятным обстоятельством здесь явилось то, что показатель преломления кварца для обыкновенного луча истривовочного лазера ( $\lambda = 0,63$  мкм) практически совпадает с показателем преломления для необыкновенного луча с длиной волны 1,06 мкм, являющегося рабочим. После предварительной истировки в видимом свете требовалась лишь незначительная подстройка резонатора по форме пятна генерации. Более точную истировку можно проводить в излучении с рабочей длиной волны, например, лазера на иттрий-алюминиевом гранате. При этом, однако, придется вводить внутрь затвора на время истировки дополнительную двулучепреломляющую пластинку.

Задающий генератор обеспечивал на выходе энергию  $0,5 \pm 0,8$  Дж в одной поперечной моде при длительности импульса  $\sim 25$  нс и расходимости, близкой к дифракционной.

Для вырезания из "длинного" импульса задающего генератора "короткого" импульса, необходимого для нагрева плазмы ( $\sim 1$  нс), формирующий затвор управлялся разрядником с лазерным поджигом. Управляющий импульс напряжением  $\sim 50$  кВ и длительностью  $\sim 1$  нс формировался непосредственно на разряднике с помощью отрезков коаксиальных кабелей.

Рабочий луч выделялся диафрагмой, установленной в фокусе положительной линзы с фокусным расстоянием  $f = 50$  см. Диафрагма защищала генератор от излучения, отраженного от плазмы и усиленного при обратном проходе через систему, и одновременно служила пространственным фильтром, улучшавшим диаграмму направленности излучения. Кроме того, усиление в расходящемся пучке предохраняло стержни усилителей от повреждений лазерным излучением из-за самофокусировки. Нерабочий луч использовался для контроля работы генератора.

На выходе лазерной установки максимальная энергия импульса излучения достигала  $\sim 80$  Дж при длительности по полувысоте  $1,8$  нс, длительности фронта  $0,8$  нс, расходимости  $3 \cdot 10^{-4}$  рад, контрасте  $> 10^5$ . При фокусировке излучения на мишень достигалась плотность потока  $\sim 5 \cdot 10^{14}$  Вт/см<sup>2</sup> и образовывалась плазма с температурой  $T_e \sim 1$  кэВ, в которой наблюдались ионы с рекордной кратностью ионизации  $z_1 \sim 50$  /2/.

Поступила в редакцию  
30 июня 1977 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. В. А. Бойко, О. Н. Крохин, С. А. Пикуз, А. Я. Фаенов. Квантовая электроника, 1, 2178 (1974).
2. В. А. Бойко, Т. И. Иванова, С. А. Пикуз, А. Я. Фаенов, Краткие сообщения по физике ФИАН, № 10, 26 (1976).