

К.И. Рудик, доцент; В.А Чернявский, ст. науч. сотрудник  
(Институт молекулярной и атомной физики НАН Беларуси)

### УСИЛИВАЮЩИЙ СЕЛЕКТИВНЫЙ ЗАТВОР

It is offered optical amplifying selective switch, representing the amplifying medium having dichroism of amplification of vertical and horizontal components of polarization of radiation, extending in the given medium. The switch consists of two parts: amplifying solution of dye and a polarizer. The principle of work offered switch is based on rotation of a plane of polarization of the radiation, caused by presence dichroism of amplification arising at excitation of the active medium by a pulse of linearly polarized light.

Развитие квантовой электроники и широкие потребности в использовании лазеров в научных исследованиях и технологических процессах предопределили создание и использование широкого круга оптических затворов, работающих на различных физических принципах. Необходимость применения различных затворов (для решения конкретных задач) была обусловлена необходимостью создания импульсов излучения с высокой плотностью мощности.

На ранней стадии создания таких устройств в основном применяли механические затворы (например, вращающаяся призма со скоростью вращения в несколько десятков тысяч оборотов в минуту), которые обладали существенными недостатками как в изготовлении, так и в стабильности работы. Длительность импульса излучения механических затворов составляет  $10^{-8}$ – $10^{-7}$  с.

Наряду с созданием механических затворов шла разработка и создание так называемых пассивных затворов, работа которых основана на эффекте просветления раствора красителя в полосе поглощения модулируемого излучения (длительность импульса излучения –  $10^{-8}$ – $10^{-7}$  с).

Наиболее распространенным типом оптических затворов являются электрооптические затворы, работа которых основана на эффекте Керра и Поккельса. Однако «прижились» только затворы на эффекте Поккельса. Длительность импульса излучения –  $10^{-10}$ – $10^{-8}$  с.

Для получения импульсов излучения пикосекундной длительности используются гибридные схемы с одновременным использованием фототропных затворов с достаточно коротким временем электронной релаксации и электрооптических устройств (длительность импульса излучения  $10^{-12}$ – $10^{-11}$  с).

Теперь кратко рассмотрим работу усиливающего затвора. Затвор представляет собой усиливающую среду, обладающую дихроизмом усиления вертикальной и горизонтальной компонент поляризации излучения, распространяющихся в данной среде. В эксперименте могут использоваться как поперечный, так и продольный варианты возбуждения активной среды.

В качестве активной среды может применяться раствор красителя с соответствующей полосой усиления, который возбуждается в полосе поглощения мощным импульсом света линейной поляризации, что приводит к изменению населенностей основного и возбужденного состояний

молекул. При этом время вращательной релаксации возбужденных молекул должно значительно превышать время их жизни в возбужденном состоянии. Такое соотношение времен не позволит разрушить оптическую анизотропию, возникшую под действием мощного импульса света линейной поляризации. В оптическом отношении возбужденный раствор красителя подобен одноосному усиливающему кристаллу.

При произвольной ориентации плоскости поляризации зондирующего излучения, когда между световыми векторами возбуждающего и зондирующего излучения имеется некоторый угол  $\varphi_1$  (световой вектор возбуждающего излучения направлен вдоль оси  $Z$ ), состояние поляризации на выходе из усиливающего раствора определяется двумя причинами: дихроизмом усиления, приводящим к повороту плоскости поляризации, и двулучепреломлением, обуславливающим возникновение эллиптичности поляризации. Как показали эксперименты, двулучепреломление достаточно мало ( $n_o - n_e = 10^{-5}$ – $10^{-6}$ ) [1], т. е. эллиптичностью поляризации можно пренебречь и считать ее линейной.

На рис. 1 и 2 представлены результаты экспериментальных исследований вращения плоскости поляризации усиливающим раствором красителя. Из рис. 1 видно, что с увеличением плотности энергии возбуждающего излучения угол поворота плоскости поляризации возрастает и при достаточно больших плотностях энергии, которые определяют насыщение усиления раствора, стремится к насыщению.

Спектральная зависимость угла поворота плоскости поляризации раствором красителя четко коррелирует со спектром флуоресценции и усиления раствора. Максимальный угол поворота соответствует максимуму в спектре генерации данного раствора красителя, что естественно связано с максимальным значением усиления и максимальным значением дихроизма усиления.

Поскольку поворот плоскости поляризации обусловлен, как видно из приведенных рассуждений и результатов эксперимента, дихроизмом усиления системы, то, естественно, по измеренному углу поворота плоскости поляризации можно рассчитать коэффициенты усиления возбужденного раствора красителя. Используя соотношение [2]

$$\text{tg } \varphi_{\text{вх.}} = \exp[1/2(K_Z - K_Y)] \text{tg } \varphi_{\text{вх.}},$$

где  $\Phi_{\text{вых}}$  и  $\Phi_{\text{вх}}$  – углы между световым вектором модулируемого излучения на входе и выходе из усиливающего раствора красителя;  $K_Z$  и  $K_Y$  – коэффициенты усиления вертикальной и горизонтальной компонент поляризации, причем  $|K_Z - K_Y| \gg 1$ . Анализ этих расчетов показывает, что для различной ориентации светового вектора излучения на входе в усилитель поворот плоскости поляризации на конкретный угол достигается при разных значениях коэффициентов усиления. Так, например, для раствора 3-мино-N-метил фталимида в глицерине при плотности энергии возбуждающего излучения  $200 \text{ Дж/м}^3$ , когда плоскость поляризации поворачивается на угол  $\Delta\Phi = 28^\circ$  ( $\Phi_{\text{вх}} = 45^\circ$ ), коэффициент усиления  $K_Z = 480 \text{ м}^{-1}$ , а  $K_Y = 170 \text{ м}^{-1}$ .

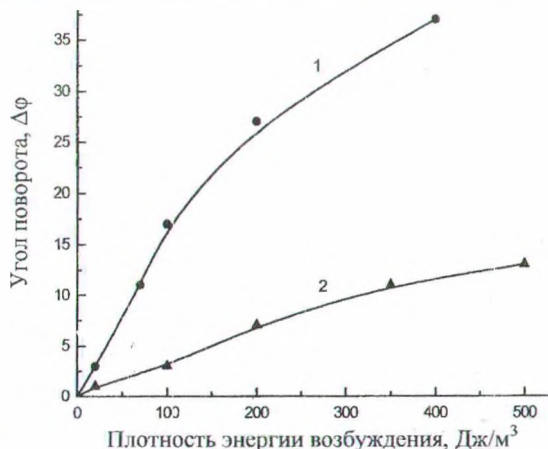


Рис. 1. Зависимость угла поворота плоскости поляризации излучения, прошедшего через усиливающий раствор 3-амино-N-метилфталимида в глицерине для разных длин волн: 1 –  $\lambda = 510 \text{ нм}$ ; 2 –  $\lambda = 490 \text{ нм}$ . Концентрация красителя составляла примерно  $10^3 \text{ моль/л}$

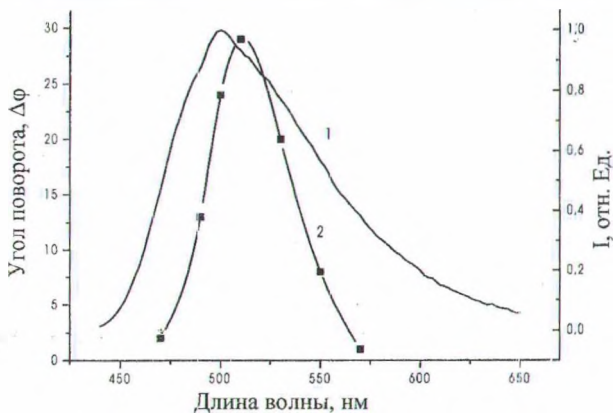
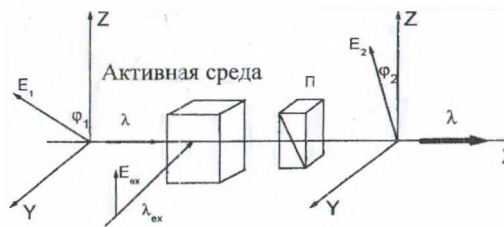


Рис. 2. Спектральная зависимость угла поворота плоскости поляризации излучения, прошедшего через усиливающий раствор 3-амино-N-метилфталимида в глицерине – 2; 1 – спектр флуоресценции

Теперь на основе полученных экспериментальных результатов рассмотрим работу усиливающего оптического затвора. Оптические схемы затвора представлены на рис. 3 и 4. Затвор состоит из двух частей: усиливающего раствора красителя и поляризатора. Световой вектор  $\mathbf{E}_1$  излучения, которое надо промодулировать, ориентируется под некоторым углом  $\Phi_1$  по отношению к световому вектору возбуждающего излучения. Плоскость

пропускания поляризатора ориентирована так, что излучение на выходе из поляризатора отсутствует.



Поперечный вариант

Рис. 3. Оптическая схема затвора при поперечной накачке



Продольный вариант

Рис. 4. Оптическая схема затвора при продольной накачке

При возбуждении активной среды мощным световым импульсом за счет дихроизма усиления происходит поворот светового вектора  $\mathbf{E}_1$  на некоторый угол  $\Delta\Phi$ , величина которого главным образом определяется коэффициентом усиления и плотностью мощности возбуждающего излучения. Таким образом, на выходе из поляризатора появляется излучение определенной интенсивности, зависящей от  $\Delta\Phi$  и коэффициента усиления. Можно подобрать такие параметры усиливающей среды и плотности мощности возбуждающего излучения, что световой вектор усиленного излучения будет очень близок к оси Z. В этом случае мы будем иметь на выходе из затвора усиленное излучение, значительно превосходящее по интенсивности излучение, падающее на затвор. Время открытого состояния такого затвора зависит от времени жизни возбужденных молекул активной среды, которое может значительно сократиться в условиях вынужденных переходов молекул из возбужденного состояния в основное и достигнуть значений  $10^{-10}$ – $10^{-9}$  с.

В заключение следует отметить, что предложенный затвор обладает определенными преимуществами по сравнению с описанными выше затворами, основным из которых является то, что он усиливающий и селективный.

### Литература

1. Пикулик Л.Г., Рудик К.И., Чернявский В.А., Гриб А.Ф. // Журнал прикл. спектроскопии. – 1996. – № 63. – Р. 242–248.
2. Рудик К.И., Пикулик Л.Г., Чернявский В.А. // Журнал прикл. спектроскопии – 1986. – № 45. – Р. 283–288.