

НЕЛИНЕЙНОЕ ПРОПУСКАНИЕ ТОНКОЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ПЛЕНКОЙ ДВУХ УЛЬТРАКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ЭКСИТОННОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА И В ОБЛАСТИ ЭКСИТОН-БИЭКСИТОННОЙ КОНВЕРСИИ

А.В. Коровай (к.ф.-м.н., доц., ПГУ им. Т.Г. Шевченко, каф. ПМиИ),
 А.Г. Мангир (студ., 1 курса магистратуры, ПГУ им. Т.Г. Шевченко, каф. ПМиИ),
 П.И. Хаджи (док. ф.-м.н., проф., ПГУ им. Т.Г. Шевченко, каф. КРиСС)

sashamangir@mail.ru

Развитие интегральной оптики, поиск новых эффектов с целью создания оптических систем обработки, хранения и передачи информации, стимулируют разносторонние исследования оптических явлений, связанных с прохождением электромагнитного излучения через тонкий слой резонансной среды. В рамках модели ТПП, толщина которой значительно меньше длины волны возбуждающего излучения, наблюдаются такие нелинейные явления, как самоиндуцированная прозрачность, оптическая бистабильность и др., которые допускают простое аналитическое описание и в то же время приобретают новые черты, расширяющие возможности их практического использования. Так как полупроводники обладают разнообразными механизмами нелинейности, малыми временами релаксации и большими значениями оптических нелинейностей, то следует ожидать более яркого проявления указанных эффектов именно в ТПП. Существенный интерес также представляет исследование реакции ТПП на два (и более) падающих импульса с различными амплитудами, частотами, полуширинами (оггибающими), соответствующие различным квантовым переходам и различным типам взаимодействия света с элементарными возбуждениями среды. Благодаря успехам технологии в последние годы стало возможным создание тонкопленочных структур практически из любого полупроводникового материала и любой толщины.

В настоящей работе приведены результаты исследования закономерностей нестационарного пропускания (отражения) ко-



Рис. 1. Энергетическая схема уровней экситонов и биэкситонов, а также переходы между ними.

Частота одного из падающих импульсов находится в области экситонного перехода ω_1 , а другого - в резонансе с частотой перехода в области М-полосы ω_2 , т.е. с частотой процесса оптической экситон-биэкситонной конверсии.

Гамильтониан задачи имеет вид:

$$\hat{H} = -\hbar g(\mathbf{a}^+ E_1^+ + \mathbf{a} E_1^-) - \hbar \sigma(\mathbf{a}^+ \mathbf{b} E_2^- + \mathbf{b}^+ \mathbf{a} E_2^+) - \hbar \mu(\mathbf{b}^+ E_1^+ E_2^+ + \mathbf{b} E_1^- E_2^-),$$

где $E_1^+(E_1^-)$ – положительно(отрицательно)-частотная компонента поля импульса с частотой фотонов $\omega_1 = \Omega_0 - \omega_M$, возбуждающего экситоны из основного состояния кристалла, Ω_0 – собственная частота биэкситонного перехода, $E_2^+(E_2^-)$ – соответствующая компонента поля импульса с частотой фотонов ω_2 , действующего в области М-полосы ($\omega_2 \cong \omega_M = \Omega_0 - \omega_0$), ω_M – частота перехода в области М-полосы, ω_0 – собственная частота экситонного перехода (Рис. 1.), $\mathbf{a}(\mathbf{b})$ – ненормированная амплитуда экситонной(биэкситонной) волны поляризации, σ – константа оптической экситон-биэкситонной

конверсии, μ – константа двухфотонного возбуждения биэкситонов из основного состояния кристалла, g – константа экситон-фотонного взаимодействия.

Была получена система нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих временную эволюцию амплитуд экситонов, биэкситонов, а также амплитуд полей, прошедших импульсов с учетом затухания в условиях точного резонанса.

$$i\dot{a} = -iMa - f_1^+ - f_2^- b,$$

$$i\dot{b} = -iKb - f_2^+ a - f_1^+ f_2^+,$$

$$f_1^+ = \frac{f_{i1} + ia + ibf_{i2} + saN}{1 - sN},$$

$$f_2^+ = \frac{f_{i2} + isa^+ b + isbf_{i1} + sba^+}{1 - sN}$$

где M, K – коэффициенты затухания экситонной и биэкситонной волны поляризации соответственно; $N = bb^+$; $s = \frac{\omega_2}{\omega_1}$ (Рис. 1.)

В случае падения лазерных импульсов с постоянными огибающими и одинаковыми коэффициентами затухания (Рис.2) все кривые с небольшими осцилляциями выходят на константу. При неравных коэффициентах затухания осцилляции уменьшаются.

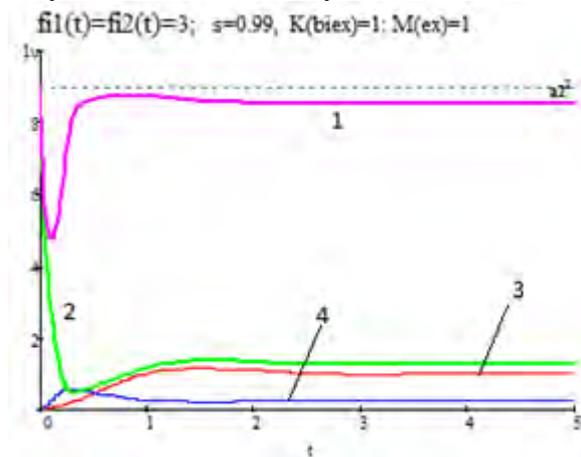


Рис. 2. Зависимость между интенсивностями падающих импульсов лазерного излучения и интенсивностями выходящих полей, концентрации экситонов и биэкситонов. 1 – интенсивность выходящего излучения в области М-полосы; 2 – интенсивность выходящего излучения в области экситон-фотонного взаимодействия; 3 – концентрация экситонов; 4 – концентрация биэкситонов. $f_1(t), f_2(t)$ – амплитуды падающих полей; $M(ex), K(biex)$ – коэффициенты затухания экситонов(биэкситонов); s - отношение частот падающих излучений в области М-полосы к частоте в области экситон-фотонного взаимодействия.

Случай падения прямоугольных импульсов представлен на Рис. 3, причем сначала падает импульс в экситон-фотонной области спектра и не дожидаясь окончания первого, падает второй импульс в области экситон-биэкситонной конверсии.

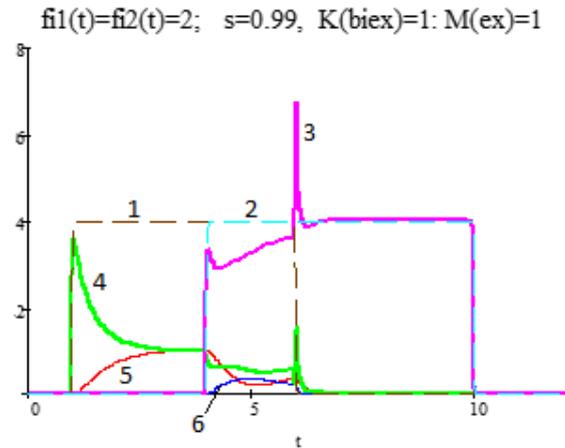


Рис. 3. Временная схема падения на ГПП двух прямоугольных импульсов. Где 1 – падающий прямоугольный импульс в области экситон-фотонного взаимодействия; 2 – падающий прямоугольный импульс в области М-полосы; 3 - интенсивность выходящего излучения в области М-полосы; 4 - интенсивность выходящего излучения в области экситон-фотонного взаимодействия; 5 - концентрация экситонов; 6 – концентрация биэкситонов. Смысл параметров на этом рисунке такой же как на Рис. 2.

Пока действует импульс (1), концентрация экситонов увеличивается и стремится к постоянной величине (Рис. 3.). Выходящее излучение сначала максимальное, т.к. в начальный момент времени в пленке отсутствовали экситоны и биэкситоны, а потом уменьшается, потому что энергия расходуется на генерацию экситонов. Когда действуют оба импульса (кривые 1 и 2) концентрации экситонов и биэкситонов испытывают осцилляции. Выходящее излучение при этом также будет иметь осцилляционный характер (кривые 3 и 4). Наконец, когда действует только импульс (2), то концентрации резко сходят на нет, сопровождаясь при этом резким пиком выходящего излучения в области М-полосы. При увеличении амплитуды и коэффициентов затухания, качественно ничего не меняется.

Предположим, что сначала действует прямоугольный импульс (2), а затем, не до-

жидаясь его окончания падает прямоугольный импульс (1) (Рис. 4).

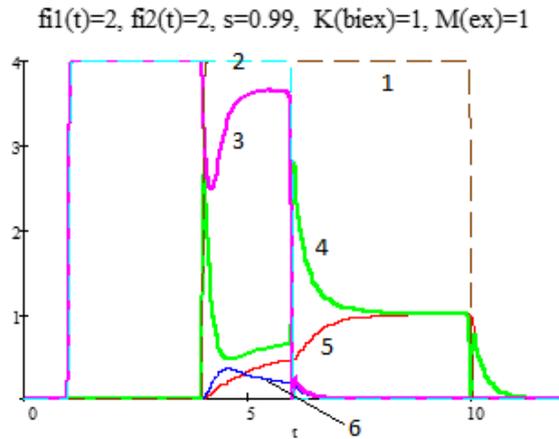


Рис. 4. Временная схема падения на ТПП двух прямоугольных импульсов. 1 – падающий прямоугольный импульс в области экситон-фотонного взаимодействия; 2 – падающий прямоугольный импульс в области М-полосы; 3 – интенсивность выходящего излучения в области М-полосы; 4 – интенсивность выходящего излучения в области экситон-фотонного взаимодействия; 5 – концентрация экситонов; 6 – концентрация биэкситонов. Смысл параметров на этом рисунке такой же как на Рис. 2.

Во время действия только импульса (2) интенсивность падающего излучения равна интенсивности выходящего излучения и не наблюдается генерации биэкситонов, т.к. в начальный момент времени в пленке нет экситонов и биэкситонов. Когда действуют оба импульса, то наблюдается динамика. Во время действия обоих импульсов концентрация экситонов и биэкситонов изменяется с небольшими осцилляциями. Выходящее излучение (3) и (4) в момент действия обоих импульсов сначала максимально, а затем выходит на константу. В момент времени, когда действует только импульс (1) наблюдается пик выходящего излучения (4). Это связано с тем, что пока действовали оба импульса концентрация экситонов не была максимальной, так как какая-то часть экситонов тратилась на генерацию биэкситонов. При коэффициенте затухания экситонов $M = 0$, концентрации экситонов через некоторый промежуток времени будет равна интенсивность падающего излучения.

Предположим, что на ТПП падают два УКИ лазерного излучения гауссовой формы.

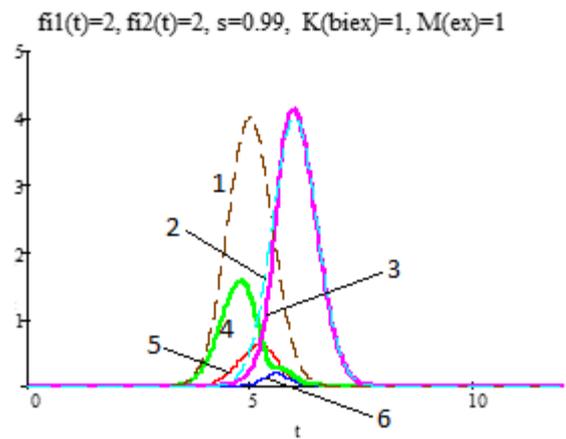


Рис. 5. Временная схема падения на ТПП двух гауссовых импульсов. 1 – падающий гауссовый импульс в области экситон-фотонного взаимодействия; 2 – падающий гауссовый импульс в области М-полосы; 3 – интенсивность выходящего излучения в области М-полосы; 4 – интенсивность выходящего излучения в области экситон-фотонного взаимодействия; 5 – концентрация экситонов; 6 – концентрация биэкситонов. Смысл параметров на этом рисунке такой же как на Рис. 2.

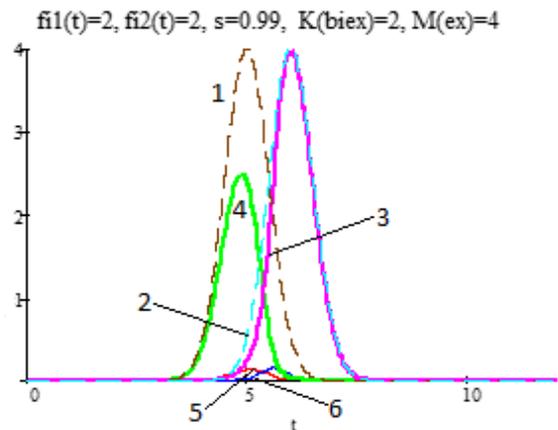


Рис. 6. Временная схема падения на ТПП двух гауссовых импульсов. 1 – падающий гауссовый импульс в области экситон-фотонного взаимодействия; 2 – падающий гауссовый импульс в области М-полосы; 3 – интенсивность выходящего излучения в области М-полосы; 4 – интенсивность выходящего излучения в области экситон-фотонного взаимодействия; 5 – концентрация экситонов; 6 – концентрация биэкситонов. Смысл параметров на этом рисунке такой же как на Рис. 2.

Из рисунков видно, что качественно результаты не отличаются, от результатов, полученных при падающих импульсах прямоугольной формы.

В рамках полуклассического подхода построена модель двухимпульсного когерентного нелинейного взаимодействия лазерного излучения с тонкой пленкой полупроводника для нестационарного режима работы. ТПП с толщиной, значительно меньшей длины волны падающего излучения, демонстрирует широкий спектр нелинейно-оптических явлений, существенно отличающихся от аналогичных явлений для

объемных полупроводников. Поэтому ТПП при возбуждении в ней экситонов и/или би-экситонов может функционировать в качестве эффективного преобразователя импульсов, ограничителя по амплитуде, переключателя, бистабильной ячейке памяти и т.д., причем без использования каких-либо дополнительных устройств для обеспечения обратной связи.