

ДИНАМИКА ОТРАЖЕНИЯ РЕЗОНАНСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ АКТИВНОЙ ПЛЕНКОЙ

Е.В. Тимощенко, Ю.В. Юревич (кафедра математики и информатики)

Анализ процессов резонансной оптики предполагает применение нелинейных динамических моделей взаимодействия сверхвысокочастотного электромагнитного поля с веществом. Тонкий слой двухуровневых резонансных атомов представляется удобным объектом при изучении реакции вещества на интенсивное световое поле, близкое по частоте к частоте основного перехода. Это обусловлено, во-первых, тем, что возможно значительное упрощение расчетной схемы взаимодействия, формулируемой в рамках квантовомеханического подхода. Упрощенная модель в квазистационарном приближении может быть представлена системой обыкновенных дифференциальных уравнений и позволяет применение качественных методов изучения равновесных состояний динамических систем.

В рамках расчета этой модели выполнено задание проекта БРФФИ № Ф14М – 146; в ходе работы по проекту изучены закономерности трансформации плосковолнового светового поля, отражаемого тонким слоем оптической среды с относительно высокой плотностью активных центров. К таким материалам, именуемым плотными резонансными средами, относят ныне интенсивно изучаемые квантово-размерные полупроводниковые структуры, нелинейно реагирующие на когерентное излучение в области экситонного резонанса. Материальные характеристики этих структур использованы в качестве модельных параметров проведенных расчетов.

В рамках выполнения проекта рассчитана дисперсионная зависимость нелинейной диэлектрической проницаемости тонкого слоя плотной резонансной среды. Результатами расчета вскрыта особая трансформация спектральной линии поглощения и дисперсионной кривой показателя преломления, которая способна проявляться при насыщении поглощения резонансным излучением, однородным в пределах частотной области, превышающей спектральную ширину линии. Наличие динамического нелинейного смещения центра линии из-за диполь-дипольного взаимодействия при одновременном насыщении приводит к бистабильности нелинейной диэлектрической восприимчивости оптической структуры с планарной граничной пленкой плотной резонансной среды, причем бистабильность и гистерезис проявляется и в дисперсионной зависимости поглощения и преломления. Указана область значений параметров, в которой проявляется гистерезис, проведена оценка зоны гистерезиса на шкале интенсивности и шкале частот в зависимости от этих значений.

Предсказана возможность нового физического эффекта – расщепления сверхкороткого оптического импульса, отражаемого тонким слоем плотной резонансной среды. Процесс резонансного отражения численно моделируется в рамках модели, рассматривающей среду как ансамбль нелинейных осцилляторов с подвижными (изменяемыми в пределах, задаваемых нелинейностью) резонансной частотой и шириной линии погло-

щения. Эффект возможен в режиме когерентного взаимодействия света с веществом и возникает как следствие нутационных колебаний разности населенности, развивающихся в условиях динамичной фазовой перестройки поля и поляризованности среды тонкого слоя. Решающим фактором развития процесса расщепления импульса при резонансном отражении является эффект фазового смещения, обусловленный влиянием ближних дипольных взаимодействий на контур линии поглощения. Эффект фазового смещения в условиях колебаний разности населенности приводит к гистерезисному переключению эффективного отражения, действие которого в процессе формирования отраженного сигнала резко изменяет его профиль. Результаты исследования могут быть полезны при разработке методов формирования и сокращения длительности особо коротких лазерных импульсов.

Проведен анализ динамики отражения резонансного излучения поверхностной активной пленкой, который дает возможность оценки следствий линейной и нелинейной фазовой модуляции излучения. С применением методов качественного исследования динамических систем вскрыты нелинейные осцилляторные особенности протекания переходных динамических процессов энергообмена в системе квазистационарное поле излучения – резонансная пленка. Для условий относительной слабости релаксационных процессов установлена возможность временной модуляции первоначально квазинепрерывного излучения в ходе резонансного отражения тонким активным слоем. Характеристики осцилляций, в том числе амплитуда, частота и контраст, определяются мощностью отражаемого излучения, его спектральной близостью к резонансу поглощения, уровнем резонансного поглощения. Резонансное преобразование светового поля при отражении в режиме когерентного взаимодействия можно использовать для формирования оптических сигналов в сверхбыстрых процессах взаимодействия излучения с тонкими активными пленками, а также для целей диагностики оптических свойств структур пониженной размерности.

Исследована динамическая реакция системы, состоящей из двух тонких полупроводниковых пленок, рассматриваемых как плотные резонансные среды. Дрейф собственных частот диполей, зависящий от концентрации активных центров определяет дополнительную динамическую фазовую связь между прошедшим полем и плотностью активных центров (насыщаемым резонансным поглощением). Вследствие большой чувствительности такой системы к фазовым соотношениям действующего и прошедшего полей в цепи обратной связи учет диполь-дипольного взаимодействия оказывает влияние на устойчивость системы. Обусловленное фактором диполь-дипольного взаимодействия увеличение нелинейности в системе приводит к увеличению области бистабильности на шкале уровня внешнего возбуждения и возможности переключения режимов отражения с изменением уровня возбуждения, в частности, получения автомодуляционного осцилляторного режима в отраженном излучении. Предполагается, что данный эффект развития неустойчивости в виде регулярной модуляции в отраженном световом поле можно использовать для формирования временной структуры излучения, а также для совершенствования приемов диагностики нелинейных свойств субмикронных и наноразмерных планарных слоев вещества.

Показано, что применение пассивного модулирующего элемента на основе тонких пленок плотных резонансных сред в резонаторе твердотельного лазера может обусловить развитие режима автоколебаний в выходном излучении. Результатом является генерация релаксационных серий достаточно коротких импульсов без использования внешних модулирующих устройств. Оценка явления проведена для параметров инжекционных лазеров, расчеты имеют очевидную общность и могут быть использованы в случае других твердотельных лазерных сред. Существенным фактором, стимулирующим возникновение автомодуляции при постоянной во времени накачке, выступает

присущее плотным резонансным средам диполь-дипольное взаимодействие. Показано, что именно этим фактором обусловлено существование амплитудно-фазовой связи и бистабильности, приводящей к самопульсациям излучения в резонаторе с тонкопленочным модулятором. Изменение уровня накачки и поглощения в модулирующем элементе на основе таких структур можно использовать для управления временными параметрами пульсаций излучения в пико- и субнаносекундном диапазоне длительности с относительно невысокой (не превышающей 2–3 порядка мощности насыщения усиления) пиковой интенсивностью.

Проведенное моделирование и аналитическая оценка динамики сверхизлучения (СИ) в пленке инвертированной среды позволили характеризовать зависимость формирования коротких световых импульсов от материальных параметров в условиях сверхбыстрых процессов резонансного взаимодействия излучения с пленками оптических сред. Когерентностью высвечиваемого светового поля и поляризованности среды обусловлена высокая скорость вынужденного сброса инверсии в процессе СИ. Это позволяет рассматривать СИ как способ получения сверхкоротких импульсов в специфических условиях применения усиливающих элементов в виде тонких слоев с высокой концентрацией активных центров.

Часть разработанных методик расчета и результатов качественного анализа динамики внедрена в учебный процесс в качестве заданий лабораторного практикума по вычислительным методам и моделированию, а также может быть использована в спецкурсах физической тематики.