

СЕКЦИЯ 2

НЕЛИНЕЙНЫЕ СРЕДЫ И СТРУКТУРЫ

Руководитель: Жестков Сергей Васильевич

Секретарь: Глазунова Елена Валерьевна

Е.В. Глазунова, В.А. Юревич

(Беларусь, Могилев)

ОПТИЧЕСКИЙ ГИСТЕРЕЗИС В ПРОПУСКАНИИ СТРУКТУРЫ ИЗ ТОНКИХ ПЛЕНОК РЕЗОНАНСНЫХ СРЕД

Эффект оптического гистерезиса может регистрироваться при отражении или пропускании света оптическим устройством (например, резонатором, заполненным нелинейной средой [1]) и заключается в существовании двух значений его прозрачности для одного и того же уровня мощности зондирующего извне излучения, но при условии разных режимов изменения мощности (ее нарастания или уменьшения вблизи критических точек). В качестве общей причины эффекта выступает разница во временах релаксации линейной и нелинейных компонент поляризованности, индуцируемой световым полем в резонансных средах. Известно также, что свойство оптического гистерезиса характерно для пропускания квазимонохроматического излучения особо тонкими пленками, образуемыми резонансно поглощающими средами. Особо удобными для наблюдения гистерезиса оказываются пленки, для которых, кроме резонансной абсорбции, типична нелинейная рефракция на частоте зондирующего светового поля. Обусловленная ею фазочувствительность слоя значительно смещает зону параметров пленок, в которой возможно бистабильное поведение их оптических свойств, что способно, в целом, оптимизировать условия его проявления.

Расчет нелинейного пропускания тонкой пленки может быть проведен в приближении особо тонкого слоя на основе нелинейного алгебраического соотношения [2] для равновесных значений интенсивностей действующего в пленке (установившегося) и внешнего квазинепрерывного поля (X и Y):

$$Y = X \left\{ \left[1 + \frac{\kappa}{1 + (\Delta\omega T_2)^2 + X} \right]^2 + \kappa^2 \left[\frac{\Delta\omega T_2 - \beta X}{1 + (\Delta\omega T_2)^2 + X} \right]^2 \right\}. \quad (1)$$

Здесь интенсивности нормированы по уровню насыщающей мощности, κ — показатель ненасыщенного поглощения, $\Delta\omega = \omega_0 - \omega$ — отстройка частоты внешнего поля ω от центра спектральной линии ω_0 , $1/T_2$ — полуширина линии, параметр β — нелинейной рефракции. Рассматривается случай нормального падения на поверхность пленки плоской световой волны с высокой плотностью энергии, характерной для лазерных полей.

В настоящем сообщении приведен алгоритм расчета нелинейного пропускания системы, образуемой рядом планарных тонких слоев. Структуры из тонких активных полупроводниковых пленок обладают модуляционными свойствами. Методика расчета их нелинейных свойств должна представлять интерес для целей определения возможности использования резонансных структур в качестве просветляющих зеркал.

Расчетное построение нелинейной характеристики пропускания тонкого слоя резонансных атомов на основе (1) удобно проводить, задавая значения X и, соответственно, вычисляя величину Y . В противном случае — при поиске X в зависимости от Y — следовало бы находить решения сложного алгебраического уравнения. Использование X как параметра при расчете $X(Y, \Delta\omega)$ имеет еще одно преимущество. Оно состоит в том, что, основываясь на подобном «обратном» просчете характеристики, можно проще строить зависимость пропускания от Y для многослойных планарных структур из резонансных пленок с разными значениями поглощения, положением резонанса на частотной шкале, с различными величинами насыщающей мощности или сечений активного поглощения, определяемых отношением μ^2/h для разных сред.

В случае построения зависимости пропускания m слоев расчет должен начинаться с определения величины X_{m-1} по величине X_m в последнем из слоев (используя (1), как при нахождении Y по значению X в случае одного слоя). Далее процедура расчета состоит в последовательном нахождении по величине X_k значения X_{k-1} в k -1-ом слое согласно приводимой ниже модификации соотношения (1):

$$X_{k-1} = X_k \left\{ \left[1 + \frac{\kappa_k}{1 + (\Delta\omega_k T_{2k})^2 + \sigma_k X_{sk}} \right]^2 + \kappa_k^2 \left[\frac{\Delta\omega_k T_{2k} - \beta_k X_k}{1 + (\Delta\omega_k T_{2k})^2 + \sigma_k X_{sk}} \right]^2 \right\}, \quad (2)$$

где индексы k указывают на значения параметров и объектов расчета, соответствующие k -тому слою, σ_k — отношение сечений перехода в k -том и $k-1$ -ом слое. Учитывается, таким образом, возможность различия в ширине линий и параметрах нелинейности абсорбции и рефракции в каждой из пленок. Величину Y определяют из соотношения (2) по X_1 .

Алгоритм расчета $X_m(Y, \Delta\omega)$ на основе рекуррентных соотношений типа (2) предполагает, однако, пренебрежение величиной отраженного поля. При избранном допущении крайне малой толщины слоев в структуре интерференционного гашения волн происходить не может, т.е. эффект резонатора отсутствует. Отраженная от границы слоя волна вместе с проходящей волной определяет действующее на активные частицы поле.

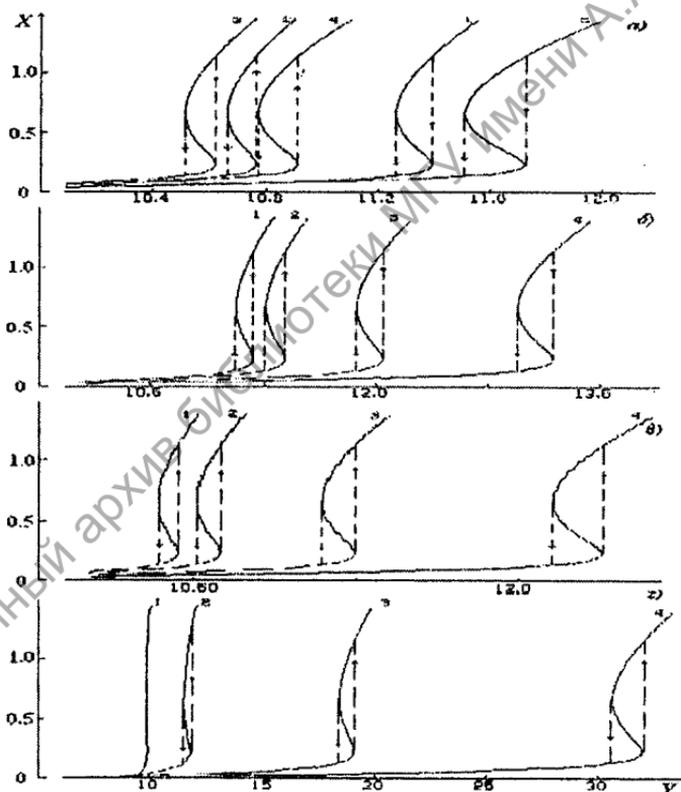


Рис. 1

Гистерезисные кривые зависимости интенсивности выходного излучения от интенсивности зондирующего поля: $\kappa_2=0.32$ (1), 0 (2), -0.32 (3), -0.67 (4), -1.0 (5) $\beta_2=1.0$ (а); $\kappa_2=0.32$ (б), -0.32 (в), -1.0 (г), $\beta_2=0$ (1), 1.0 (2), 2.0 (3), 3.0 (4) (б-г); $\kappa_1=\kappa_3=10.0$, $\Delta\omega_{1,3}T_{21,3} = \pm 1.0$, $\Delta\omega_2T_{22} = 0$, $\beta_{1,3}=0.1$, $\sigma_1 = \sigma_3 = 10$, $\sigma_2 = 1$.

В качестве примера применения расчетной модели ниже приведены результаты расчета характеристики (рисунок), определяющей нелинейную связь интенсивностей зондирующего и прошедшего планарную систему из трех резонансных пленок полей излучения. Средняя из пленок могла характеризоваться отрицательным поглощением. От его величины положение петли гистерезиса и ширина петли на шкале входной интенсивности Y зависит сложным образом (рис. 1, *a*). Заметно, однако, что в случае, если средняя пленка может люминесцировать, гистерезисная петля значительно шире, чем если бы пленка просто характеризовалась резонансным поглощением. Оптимизирует петлю и более высокий уровень резонансной нелинейной рефракции (рис. 1, *б-г*).

Работа выполнена при поддержке БРФФИ (Проект № Ф06М 231).

Литература

1. Гиббс Х. Оптическая бистабильность. – М.: Мир, 1988. – 517 с.
2. Glasunova E.V., Yurevich V.A. Nonlinear reflection of light by thin film resonant structure. Известия Гомельского государственного университета им. Ф.Скорины. 2006. №6 (39). – Ч.1. – С.53-57.