

КВАДРАТИЧНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ НЕЛИНЕЙНОСТЬ АМОРФНОЙ ГЕТЕРОГРАНИЦЫ

А.Ю.Агапов, П.М.Житков, В.Г.Фавстов, В.М.Шевцов

*Университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы,
117198, Москва*

Поступила в редакцию 3 апреля 1991 г.

На примере генерации второй гармоники в многослойном планарном оптическом волноводе экспериментально показано, что аморфная гетерограница может обладать значительной квадратичной нелинейностью. Продемонстрирована возможность конструирования нелинейных сред из сверхтонких аморфных пленок.

Известно, что в средах, обладающих центром симметрии, отсутствуют ненулевые компоненты тензора дипольной квадратичной нелинейной восприимчивости, а наблюдаемые в них нелинейные процессы второго порядка обусловлены старшими членами разложения вектора нелинейной поляризации¹. В области с нарушенной локальной симметрией вблизи поверхности centrosymmetric в объеме среды величины компонент тензора квадратичной дипольной нелинейной восприимчивости χ_{ijk}° определяются суммой "полевой" и "структурной" составляющих^{2,3}:

$$\chi_{ijk}^{\circ} = \chi_{ijkl}^{(3)D} E_l^0 + \frac{1}{2} \nabla_l \chi_{ijkl}^{(2)Q}, \quad (1)$$

где $\chi_{ijkl}^{(3)D}$ и $\chi_{ijkl}^{(2)Q}$ - компоненты тензоров дипольной третьего порядка и квадрупольной второго порядка нелинейных восприимчивостей. Первый член в (1) обусловлен присутствием электростатического поля с вектором напряженности \vec{E}^0 , а второй - пространственной неоднородностью среды в приповерхностной области.

Полевая составляющая может играть существенную роль в нелинейных процессах вблизи поверхности раздела аморфных материалов.

В процессе изготовления аморфного гетероперехода он может испытывать внешние воздействия, вызывающие интенсивную генерацию электронно-дырочных пар. При этом происходит инжекция подвижных носителей и образование области пространственного заряда. После прекращения внешнего воздействия заряды оказываются надолго "замороженными" на локализованных состояниях внутри щелей подвижности аморфных материалов. При высокой плотности неравновесного заряда на ловушечных уровнях напряженности электрических полей в области пространственного заряда могут превышать 10^7 В/м⁴. Из типичных для конденсированных сред значений нелинейной восприимчивости третьего порядка $10^{-22} - 10^{-21}$ м²/В² при напряженности внутреннего поля 10^8 В/м следует оценка квадратичной нелинейности на уровне $10^{-14} - 10^{-13}$ м/В.

В работе⁵ зарегистрирована генерация второй гармоники в многослойной аморфной структуре, состоящей из двух периодически чередующихся сверхтонких диэлектрических пленок. Такую структуру можно интерпретировать как среду с высокой плотностью "встречно включенных" атомарно резких⁶ гетерограниц. Локальная симметрия приграничных областей каждого слоя, обрамленного с обеих сторон практически идентичными средами, понижена до

макроскопической симметрии типа $C_{\infty v}$. При этом направления полярных осей в областях вблизи верхней и нижней границ слоя противоположны, тогда как абсолютные величины компонент тензора $\hat{\chi}^{\hat{\alpha}}$ почти одинаковы.

Задача настоящей работы состояла в уменьшении степени взаимной компенсации вкладов во вторую гармонику от верхней и нижней приграничных областей каждого слоя. Это позволило бы существенно повысить нелинейность аморфной гетероструктуры в целом и получить, пусть заниженную, оценку квадратичной нелинейной восприимчивости аморфной гетерограницы. С этой целью было предложено сформировать период структуры из трех аморфных пленок.

Исследуемые структуры изготавливались методом реактивного высокочастотного катодного распыления. Мишени из тантала, алюминия и плавленого кварца распылялись в кислородно-аргоновой атмосфере. Подложки последовательно вносились в области распыления каждой мишени. Готовые образцы были рентгеноаморфными.

В качестве оптической схемы реализации генерации второй гармоники был выбран планарный волновод, дающий возможность при значительной длине взаимодействия обеспечить высокую плотность мощности волны накачки. Оптическая анизотропия многослойной периодической структуры из материалов с различными показателями преломления ⁷ позволила синхронизировать основные волноводные моды - TE_0^{ω} и $TM_0^{2\omega}$ ^{5,8}.

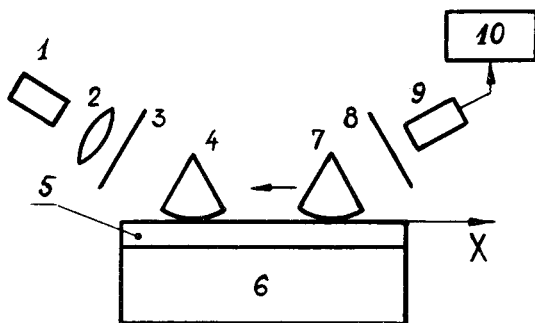


Рис. 1. Схема эксперимента по генерации второй гармоники: 1 - лазер ЛТИ ПЧ-4; 2 - линза, $f = 0,5$ м; 3, 8 - светофильтры; 4, 7 - призмные элементы ввода и вывода излучения (ТФ-5); 5 - аморфная гетероструктура; 6 - подложка; 9 - ФЭУ-51; 10 - осциллоскоп С1-79. Стрелкой указано направление перемещения выводной призмы

Генерация второй гармоники наблюдалась в волноводной структуре толщиной $0,70$ мкм на подложке из плавленого кварца. Каждый из 15 периодов состоял из пленок Ta_2O_5 толщиной $19,0$ нм, Al_2O_3 - $12,0$ нм и SiO_2 - $15,7$ нм. Источником излучения накачки с длиной волны $1,06$ мкм служил Nd : YAG лазер в режиме свободной генерации (рис.1). Излучение накачки и второй гармоники полностью выводилось из волновода с помощью призмы 7, которая устанавливалась в фиксированных положениях с шагом 1 мм по оси X.

Результаты измерений приведены на рис.2. В точке, где отношение $P^{2\omega}/(P^{\omega})^2$ максимально, эффективность генерации второй гармоники $\eta = P^{2\omega}/P^{\omega}$ составила $1,7 \cdot 10^{-6}$ при мощности волны накачки $P^{\omega} = 130$ мВт.

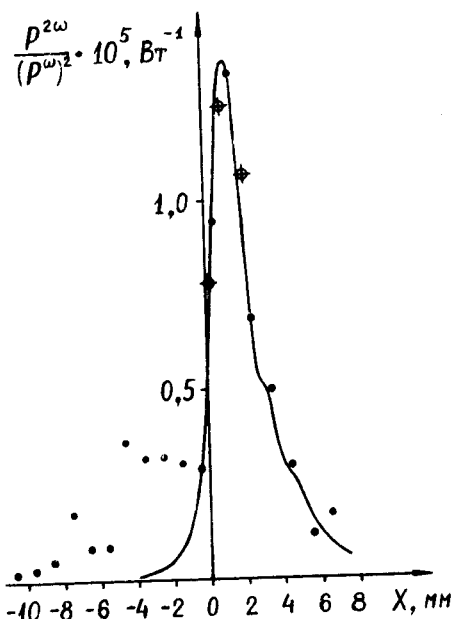


Рис. 2. Распределение эффективности генерации второй гармоники, приведенной к 1 Вт мощности волны накачки: --- - расчетная кривая; • - экспериментальные результаты в "асимметричной" структуре; ⊕ - то же $\times 10^4$ в "симметричной" структуре. При расчете предполагалось, что $\Delta(\delta\gamma)/\Delta z = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$; $\delta\gamma(0) = 0$; волноводные потери второй гармоники 21 дБ/см; эффективная длина излучающей апертуры 1,5 мм

Измерения продольных компонент волновых векторов волн накачки k_x^ω и гармоники $k_x^{2\omega}$ показали, что в области генерации второй гармоники волновод не однороден, и характеризующая фазовую расстройку зависимость $\delta\gamma(x) = [k_x^{2\omega}(x) - 2k_x^\omega(x)]/k_0^{2\omega}$, где $k_0^{2\omega} = 2\omega/c$, близка к линейной, причем $\Delta(\delta\gamma)/\Delta x \approx 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$.

В приближении равномерного распределения компоненты d_{31} (считаем ось Z перпендикулярной плоскости подложки) в поперечном сечении периодической структуры была вычислена средняя на периоде величина $d_{31}^{cp} = 0,33 \cdot 10^{-13} \text{ м/В}$.

При тех же условиях была изготовлена контрольная структура с "симметричным" обрамлением слоев. 12 ее периодов состояли из пленок Ta_2O_5 (19,0 нм) и SiO_2 (24,3 нм). В ней также наблюдалась генерация второй гармоники, причем приведенная к 1 Вт мощности волны накачки эффективность преобразования была на четыре порядка (рис.2), а d_{31}^{cp} - в 30 раз ниже значений, полученных в "асимметричной" структуре.

Таким образом, в настоящей работе экспериментально показано, что аморфная гетерограница может обладать значительной квадратичной нелинейностью. В комбинации с методами измерения внутреннего поля ⁴ метод генерации второй гармоники ² может оказаться полезным инструментом для получения важной информации о природе структурных дефектов в области пространственного заряда аморфного гетероперехода.

Путем увеличения степени асимметрии распределения компоненты d_{31} в поперечном сечении каждого отдельного слоя среднее ее значение на периоде многослойной аморфной гетероструктуры повышено в 30 раз. Тем самым продемонстрирована возможность "конструирования" нелинейных сред из сверхтонких аморфных пленок. Существенно расширяя круг материалов, например, для создания нелинейных устройств интегральной оптики, предложенный принцип позволяет, кроме того, синхронизировать низшие вол-

новодные моды накачки и второй гармоники, а также инвертировать полярную ось многослойной структуры, изменяя в процессе изготовления порядок следования составляющих ее слоев.

Литература

1. Бломберген Н. Нелинейная оптика. М.: Мир, 1966, с.424.
 2. Ахманов С.А., Емельянов В.И., Коротеев Н.И., Семязогов В.Н. УФН, 1985, 147, 675.
 3. Говорков С.В., Емельянов В.И., Коротеев Н.И. и др. ЖТФ, 1989, 59, 98.
 4. Roxlo C.B., Abeles V., Tiedje T. Phys. Rev. Lett., 1984, 52, 1994.
 5. Сотин В.Е., Аникин В.И., Агапов А.Ю., Шевцов В.М. Письма в ЖТФ, 1989, 15, 47.
 6. Агапов А.Ю., Сотин В.Е., Шевцов В.М. Оптика и спектроскопия, 1988, 65, 217.
 7. Сотин В.Е., Шевцов В.М. Письма в ЖТФ, 1984, 10, 475.
 8. Дерюгин Л.Н., Сотин В.Е., Шевцов В.М. Письма в ЖТФ, 1986, 12, 81.
-