

932

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

На правах рукописи
УДК 548.0: 621.375

ЧУРИКОВ Виктор Михайлович

ЗАПИСЬ РЕШЕТОК КВАДРАТИЧНОЙ ПОЛЯРИЗУЕМОСТИ В СТЕКЛЕ
ПРИ ЭКСПОЗИЦИИ ПОЛЯРНО-АСИММЕТРИЧНЫМИ СВЕТОВЫМИ
ПОЛЯМИ

Специальность 01.04.21 - лазерная физика

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

МОСКВА-1994

Работа выполнена в вузовско-академической лаборатории нелинейной оптики Института электрофизики УрО РАН и Челябинского государственного технического университета

Научный руководитель: -член-корреспондент РАН

Б. Я. Зельдович.

Официальные оппоненты -доктор физико-математических наук

В. И. Емельянов,

кандидат физико-математических наук

Д. Ю. Степанов.

Ведущая организация: - Институт проблем механики РАН

г. Москва

Защита состоится " _____ " _____ 1994 г. в _____ часов
на заседании специализированного совета К 003.49.02 в Институте
общей физики РАН по адресу: ИИ7942, г. Москва, В-333, ул.
Вавилова, 38, Институт общей физики РАН.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института общей
физики РАН.

Автореферат разослан " _____ " _____ 1994 г.

Ученый секретарь

специализированного совета,

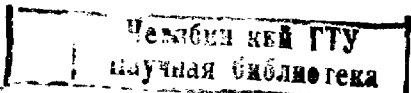
кандидат физико-математических наук

Т. Б. Волик

№ 932

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В полях с отличным от нуля средним по времени кубом возникает множество интересных эффектов [1]. Примером такого эффекта является фотоиндуцированная генерация второй гармоники (ГВГ), обнаруженная в 1986 году в волокне на основе германосиликатного стекла [2]. После длительного пропускания мощного излучения неодимового лазера через оптическое волокно, последнее начинало преобразовывать инфракрасное излучение (ИК) во ВГ с эффективностью ~5 %. Это открытие было неожиданным, поскольку в стекле квадратичная восприимчивость равна нулю и не выполнено условие синхронизма. Было показано [3,4], что взаимно когерентные световые поля с частотами ω и 2ω записывают в волокне решетку (голограмму) квадратичной поляризуемости $\chi^{(2)}$. Ныне большинство исследователей считает, что в волокне записывается пространственно-периодическое электростатическое поле с периодом, удовлетворяющим условию синхронизма для ГВГ [1,5-8]. Несмотря на многочисленные исследования до сих пор не существует единой точки зрения на механизм формирования такого поля. Авторы работ [4,6] считают, что при записи имеет место нелинейный процесс третьего порядка, аналогичный оптическому выпрямлению в средах без центра симметрии. В работах [1,7] в качестве возможного механизма предлагается направленная фотоионизация примесных центров полями с $\langle E^3 \rangle \neq 0$, в результате чего происходит разделение заряда. В работах [5,8] развита феноменологическая фотовольтаическая модель фотоиндуцированной ГВГ. Было показано [9], что конкретный механизм разделения заряда может отличаться для разных типов



стекла. Авторы [10] наблюдали ГВГ в объемных образцах. В [11] докладывалось о создании накопителя информации высокой плотности с использованием фотоиндуцированной ГВГ в объемном стекле.

Таким образом, представляется важным дальнейшее исследование ГВГ в центросимметричных средах. Понимание физических механизмов формирования решеток квадратичной поляризуемости в аморфных материалах может привести к созданию принципиально новых эффективных удвоителей частоты, сред для записи и хранения информации и многочастотной голографии.

Цель данной работы заключается в исследовании возможности записи решеток квадратичной поляризуемости в различных объемных стеклах, исследовании феноменологических и микроскопических свойств наведенной квадратичной нелинейности, и разработке возможной модели фотоиндуцированной генерации второй гармоники в центросимметричных средах.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Впервые записаны наведенные $\chi^{(2)}$ -решетки в объемных оптических стеклах различного типа. Обнаружена эффективная ГВГ в стеклах с высоким содержанием свинца.

2. Впервые исследованы временной и пространственный рост $\chi^{(2)}$ -решеток в объемных свинцово-силикатных стеклах. Использование объемных образцов позволило исключить влияние волноводных эффектов, усложняющих понимание явления.

3. Впервые решетки записывались световыми полями E_{ω} и $E_{2\omega}$, линейно поляризованными под углом α ($0^\circ < \alpha < 90^\circ$). Показано, что в

этом случае поляризация считанного с решетки сигнала не совпадает с поляризацией затравочной ВГ. Найдено общее соотношение, описывающее поляризационную зависимость ГБГ в свинцово-силикатных стеклах.

4. Предложен и реализован новый способ измерения фазы решетки квадратичной поляризуемости относительно интерференционной картины записывающих световых полей.

5. Предложен механизм записи в стекле электростатического поля вида $E_{st} = \text{const} \cdot \langle E(EE) \rangle$, где E — сумма вещественных записывающих световых полей.

Основные научные положения, которые выносятся на защиту, можно сформулировать следующим образом:

1. Существует возможность генерации ВГ в различных объемных стеклах. Наибольшая эффективность преобразования во ВГ имеет место в стеклах с высоким содержанием свинца (PbO- 15 мол. %).

2. На начальной стадии записи имеет место линейный по времени рост $\chi^{(2)}$ -решетки. Замедление роста решетки вследствие насыщения в центре пучка приводит к уширению сигнала ВГ по сравнению с затравочной ВГ. Разная скорость стирания $\chi^{(2)}$ -решетки в центре пучка и на крыльях приводит к изменению формы профиля сигнала ВГ при считывании. Измеренное нами время свободного распада решетки соответствует времени максвелловской релаксации объемного заряда в стекле. Вычисленная из эксперимента глубина уровней, с которой происходит возбуждение носителей заряда, составляет 0,45 эВ. В свинцово-силикатных стеклах не существует резкого порога по интенсивности накачки, а имеет место более быстрый чем по $\langle E^2 \rangle$ рост решетки вследствие накапливающихся

фотоиндуцированных изменений в структуре стекла.

3. Структура наведенного $\chi^{(2)}$ -тензора соответствует генерации ВГ в присутствии статического поля. Величина и направление записанного поля описываются следующим уравнением:

$$E_{st} = \text{const} \cdot \langle (EE)E \rangle, \quad (1)$$

где $E = 0.5(E_{1\omega}e^{-i\omega t} + E_{2\omega}e^{-i2\omega t}) + \text{к.с.}$ Из этого соотношения следует, что поляризации сигнала и затравки ВГ, вообще говоря, не совпадают.

4. Существует возможность измерить фазовый сдвиг между записываемой и считанной с решетки ВГ без внесения фазовых возмущений на входе в стекло, если решетка записана волнами, поляризованными под углом α ($0^\circ < \alpha < 90^\circ$). Этот сдвиг равен 90° и не зависит от угла α , если запись происходит с сильной затравкой до насыщения.

5. Генерация ВГ в объемных стеклах происходит в наведенном статическом поле пространственного заряда E_{sc} . Основным вкладом в формирование поля E_{sc} в свинцово-силикатном стекле является разделение заряда в результате дрейфа фотовозбужденных носителей в постоянном поле

$$E_{dc} = -\frac{4\pi}{\epsilon} P_{dc}^{(3)} = -\frac{3\pi}{2\epsilon} \chi^{(3)} \langle E(EE) \rangle, \quad (2)$$

где E - записываемое световое поле. Величина $\chi^{(3)}$ стекла в области фокальной перегрузки может увеличиваться в процессе записи вследствие генерации УФ излучением дефектов, вносящих вклад в нелинейную восприимчивость.

Практическая ценность. Продолжение начатых исследований может привести к созданию эффективных, качественно новых, дешевых сред для многочастотной голографии, записи и хранения информации и генерации второй гармоники лазерного излучения.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Она содержит 24 рисунка и список цитируемой литературы из 120 наименований. Полный объем диссертации 110 страниц. Выводы формулируются в конце каждой главы.

Содержание диссертации.

Во введении дан обзор работ, касающихся данной диссертации.

В первой главе дано описание экспериментальной установки и результаты исследования новых материалов для наведенной генерации второй гармоники. Для наблюдения $\chi^{(2)}$ -решеток использовался Nd:YAG лазер с непрерывной накачкой, активной синхронизацией мод и активной модуляцией добротности. Лазер генерировал пучки 100-пикосекундных импульсов, по 30 импульсов в пучке, частота повторения - 3-7 кГц, средняя мощность - до 0.9 Вт. Стадия записи состояла в одновременной засветке образца фокусированными ИК и ВГ излучениями в течении нескольких минут. В пробном эксперименте использовалось стекло К-8. Эффективность преобразования во ВГ была $\sim 10^{-9}$. Исследовался ряд стекол из набора светофильтров ГОСТ 9411-81. Показана возможность ГВГ в объемных стеклах различных типов. Наибольшая эффективность

преобразования во ВГ наблюдалось в свинцово-силикатных стеклах ($\sim 10^{-5}$). Показано, что поглощение в УФ области и на частоте ВГ существенно для наведенной ГВГ. Кристаллические материалы, аналогичные по спектру поглощения исследованным стеклам не обнаружили наведенной ГВГ.

Глава вторая посвящена исследованию роста и распада $\chi^{(2)}$ -решеток в стеклах с высоким содержанием свинца БС-7 и КС-4. В этой главе также изучено влияние интенсивностей записывающих волн на эффективность ГВГ.

В § 2.1 исследовались зависимости интенсивности сигнала ВГ от времени записи. Начальный участок кривой имел четко выраженную параболическую зависимость. Это говорит о том, что величина $\chi^{(2)}$ растет линейно со временем на этом участке. Наблюдался прогиб кривой перед выходом на насыщение. Он повторялся при записи решетки ИК и ВГ волнами с различными интенсивностями и как параллельными, так и ортогональными поляризациями. Этот эффект можно объяснить локальными изменениями показателя преломления стекла под воздействием излучения. Это может привести к сдвигу интерференционной картины относительно решетки и/или к изменению интеграла перекрытия между ИК и ВГ волнами.

Измерялось пространственное распределение сигнала ВГ в дальней зоне для решетки, записанной до насыщения. Для этого изображение ВГ сканировалось узкой щелью. Предполагаемое распределение сигнала ВГ в ближней зоне, полученное фурье-преобразованием, существенно шире, чем предполагалось: даже шире, чем записывающая ВГ волна. Мы полагаем, что по мере приближения к насыщению скорость роста в максимуме распределения замедляется, а в крыльях, которые еще далеки от насыщения, остается прежней, что

приводит к уширению распределения.

В § 2.2 исследовались зависимость наведенной $\chi^{(2)}$ -нелинейности от интенсивности записывающих полей и влияние входной ИК мощности на процесс считывания в свинцово-силикатных стеклах БС-7 и ИС-4. Коэффициент преобразования во ВГ был постоянным в широком диапазоне входных интенсивностей ИК излучения. Это означает, что имел место чисто квадратичный процесс и отсутствовало влияние модуляционных эффектов. Зависимости эффективности ГВГ от интенсивностей записывающих ИК и ВГ имели участок более резкого, чем по $\langle E^3 \rangle$ увеличения сигнала ВГ. Этот факт мы связываем с фотоиндуцированными изменениями в стекле, которые имеют насыщающийся характер. Мы считаем, что в исследованных стеклах резкого порога по интенсивности накачки не существует, а имеет место более быстрый, чем по $\langle E^3 \rangle$ рост решетки вследствие накапливающихся фотоиндуцированных изменений в структуре стекла.

В § 2.3 исследовалось стирание решеток $\chi^{(2)}$ в стекле как излучением ВГ, так и мощным ИК излучением при считывании. Стирание решеток можно объяснить релаксацией наведенного поля пространственного заряда E_{sc} вследствие фотопроводимости. Сигнал ВГ фотографировался в дальней волновой зоне в начале считывания и после примерно 20 минут считывания. В рамках E_{sc} -модели мы имеем плоский конденсатор в фокальной перетяжке в начальный момент считывания. Направление поля E_{sc} совпадает с направлениями поляризаций ω и 2ω . Предполагается, что гауссовское световое поле приводит к более быстрой разрядке "конденсатора" и появлению провала в распределении сигнала ВГ в центре пучка. В дальней зоне такой провал дает картину, идентичную фотографии сигнала ВГ на

поздней стадии считывания.

В § 2.4 исследовалась зависимость времени распада решеток τ от температуры. В рамках E_{sc} -модели свободный распад может трактоваться как релаксация пространственного заряда вследствие термопроводимости: $\tau(T) \sim \text{const} \cdot \exp(U_{act}/kT)$, где энергия активации U_{act} рассматривается как эффективная глубина примесных уровней, с которых происходит возбуждение носителей заряда. Для стекла BC-7 энергия активации $U_{act} = 0.45$ eV (сравните с $\Phi_0 = 1.17$ eV и $kT = 0.026$ eV). Прямое физическое измерение проводимости стекла BC-7, проведенное нами ($\sim 10^{-15}$ Ом $^{-1}$ ·см $^{-1}$), позволило оценить время максвелловской релаксации $\tau_M = \epsilon\epsilon_0/\sigma \sim 3 \cdot 10^4$ с, что по порядку величины соответствует времени жизни решеток τ при комнатной температуре.

В третьей главе представлены результаты исследования свойств наведенного $\chi^{(2)}$ -тензора в стекле и описание нового метода измерения фазы $\chi^{(2)}$ -голограммы относительно "интерференционной картины" записывающих полей.

В § 3.1 $\chi^{(2)}$ -решетки записывались в стекле накачкой ω и затравкой 2ω , имеющими параллельные, ортогональные и направленные под углом 45° линейные поляризации. Полученные нами соотношения между компонентами наведенного $\chi^{(2)}$ -тензора указывают на то, что при записи $\chi^{(2)}$ -решетки в стекле наводится электростатическое поле. В первых двух случаях направление поля совпадало с поляризацией затравки ВГ, а в третьем случае угол между ними был отличным от нуля. Снимались зависимости мощности сигнала ВГ от угла между поляризациями затравки ВГ и считывающей ИК волны для параллельного и 45° случаев. Мы вычислили угловой сдвиг между

двумя кривыми и нашли, что он равен $28^{\circ} \pm 2^{\circ}$. Оказалось, что свойства наведенного поля хорошо описываются формулой (1).

В § 3.2 предложен и реализован новый способ измерения фазы $\chi^{(2)}$ -голограммы, основанный на неколлинеарности поляризаций затравки и сигнала ВГ. Показано, что интенсивности сигнала и затравки можно уравнивать без внесения дополнительного неизвестного сдвига между фазами, установив на выходе из волокна анализатор линейной поляризации. После стадии приготовления сдвиг между фазами входных волн постепенно менялся и снималась зависимость интенсивности полного сигнала ВГ на выходе анализатора от вносимой на входе разности фаз. Интенсивность в начальной точке показывала фазовый сдвиг между считанным сигналом и затравкой. Исследовались решетки, записанные волнами, углы между поляризациями которых были $\alpha_1 = 22^{\circ}$, $\alpha_2 = 45^{\circ}$ и $\alpha_3 = 65^{\circ}$. Выбор этих значений обусловлен тем, что при α больших 70° и меньших 20° практически невозможно получить контрастную интерференцию из-за малого угла между поляризациями сигнала и затравки. Вычисленные из эксперимента значения сдвига составили $\Delta\phi_1 = 91^{\circ} \pm 4^{\circ}$, $\Delta\phi_2 = 85^{\circ} \pm 7^{\circ}$ и $\Delta\phi_3 = 87^{\circ} \pm 4^{\circ}$ соответственно. Это указывает на то, что голограмма все время находилась в фазе с "интерференционной картиной" среднего куба вещественного светового поля [4].

В четвертой главе обсуждается возможная модель явления. На основе результатов, полученных в предыдущих главах, предполагается, что формирование статического поля в свинцово-силикатных стеклах происходит в основном за счет разделения заряда в результате оптического выпрямления. Представляется возможной следующая картина процесса приготовления:

1) Возбуждение или создание посредством многофотонных процессов "дефектных" состояний в стекле, которые имеют электронные уровни вблизи зоны проводимости.

2) Возбуждение носителей заряда в зону проводимости квантами ω и 2ω с изначально имеющихся и вновь созданных накачкой "дефектов".

3) Дрейф носителей заряда под действием постоянного поля $E_{dc} = -\frac{4\pi}{\epsilon} p^{(3)}(0) = -\frac{3\pi}{2\epsilon} \chi^{(3)} \langle E(EE) \rangle$. Разделение заряда происходит до тех пор, пока внутреннее поле пространственного заряда не скомпенсирует приложенное оптическое поле E_{dc} .

4) Захват носителей ловушками типа "центры прилипания", на которых они могут оставаться очень долго (порядка $\tau_M = \epsilon\epsilon_0/\sigma$ в темноте).

Приведенные численные оценки показывают, что предложенный механизм способен привести к наблюдаемым значениям $\chi^{(2)}$ в легированных свинцово-силикатных стеклах. На основе экспериментальных данных высказана гипотеза об увеличении нелинейной восприимчивости $\chi^{(3)}$ стекла в области перетяжки в процессе записи вследствие генерации УФ излучением дефектов, вносящих вклад в нелинейную восприимчивость.

Основные результаты, полученные в диссертации можно сформулировать следующим образом:

1. Впервые записаны наведенные $\chi^{(2)}$ -решетки в объемных оптических стеклах различного типа. Показано, что эффективность ГВГ на $\chi^{(2)}$ -решетках может отличаться в 10^5 раз для разных стекол, а также, что эффективная наведенная ГВГ не является исключительным свойством германосиликатного стекла. Наибольшая эффективность преобразования во ВГ наблюдалась в свинцово-

силикатных стеклах.

2. Исследованы временной и пространственный рост $\chi^{(2)}$ -решеток в свинцовом стекле. Установлено, что наведенная $\chi^{(2)}$ -восприимчивость растет линейно со временем в начале записи. Показано, что в фокальной перетяжке пространственное распределение сигнала ВГ соответственно шире, чем распределения записывающих пучков. Результат объясняется разной скоростью насыщения роста решетки в центре пучка и на крыльях распределения.

3. Исследованы исчезновение и затирание решеток. Обнаружено, что решетки в свинцовом стекле могут быть стерты как ВГ, так и ИК излучением. Форма сигнала ВГ в дальней зоне показывает, что при длительном считывании мощным ИК излучением появляется провал в распределении сигнала ВГ в фокальной перетяжке. Это объясняется различной скоростью стирания решетки в центре пучка и на его краях. Стирание решеток можно описать в терминах модели поля пространственного заряда, однородного по поперечному сечению. Релаксация такого поля в присутствии гауссовского светового пучка приводит к потере радиальной симметрии сигнала ВГ.

4. Измерена скорость распада решетки в отсутствие излучения в зависимости от температуры стекла. Результат свидетельствует о том, что в стекле имеет место максвелловская релаксация объемного заряда. Вычислена глубина уровней, с которых происходит термическое возбуждение носителей заряда (0.45 eV).

5. Зависимости эффективности $\chi^{(2)}$ -решеток от интенсивностей записывающих световых полей E_{ω} и $E_{2\omega}$ указывает на то, что при записи имеет место фотоиндуцированные изменения оптических нелинейных свойств стекла, которые носят насыщающийся характер.

6. Тензорные свойства $\chi^{(2)}$ -решеток указывает на присутствие

в стекле статического электрического поля, записывавшегося пропорционально $\langle E(EE) \rangle$, где E - сумма вещественных записывающих полей. Показано, что в общем случае неколлинеарных поляризаций записывающих волн поляризация сигнала ВГ не совпадает с поляризацией затравки.

7. Предложен новый метод измерения фазы голограммы квадратичной поляризуемости относительно "интерференционной картины" записывающих оптических полей. Измерен сдвиг между фазами записывающей и считанной ВГ для различных углов α между поляризациями записывающих волн. Этот сдвиг во всех случаях был около 90° , т.е. записанные решетки были в фазе с "интерференционной картиной" при различных поляризациях накачки и "затравочной" второй гармоники.

8. Для объяснения полученных результатов предложена модель записи статического поля вида $E_{st} = \text{const} \cdot \langle E(EE) \rangle$. Предполагается, что генерация ВГ в объемных стеклах происходит в наведенном статическом поле пространственного заряда. Основным вкладом в формирование поля E_{st} в свинцово-силикатном стекле является разделение заряда в результате дрейфа фотовозбужденных носителей в постоянном поле E_{dc} , созданном поляризацией оптического выпрямления $P_{dc}^{(3)} \sim \chi^{(3)} E(EE)$.

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались на Международной конференции CLEO'91, г. Балтимор, США, Международной конференции по когерентной и нелинейной оптике (КиНО'91), г. Санкт-Петербург (автором лично), Международной конференции "Оптика лазеров'93", г. Санкт-Петербург (автором лично), Международной конференции "Photorefractive Materials,

Effects and Devices"(PRM'93), г. Киев, Украина, Международной конференции "Photosensitivity and Self-Organization in Optical Fibers and Waveguides"(Optics Quebec'93), г. Квебек, Канада (автором лично).

Основные результаты диссертации изложены в следующих журнальных публикациях:

1. Б. Я. Зельдович, Ю. Е. Капицкий, В. М. Чуриков, Наведенные $\chi^{(2)}$ решетки в объемных стеклах. // Письма в ЖТФ, 1991, т. 17, в. 3, с. 77-79.
2. Б. Я. Зельдович, Ю. Е. Капицкий, В. М. Чуриков, Временной и пространственный рост решеток квадратичной поляризуемости в стекле. // Письма в ЖТФ, 1991, т. 17, в. 15, с. 8-11.
3. V. M. Churikov, Yu. E. Kapitzky, V. N. Lukyanov and B. Ya. Zel'dovich, Some features of induced $\chi^{(2)}$ gratings in glass. // Sov. Lightwave Commun., 1991, v.1, n.4, p.389-394.
4. M. A. Bolshtyansky, V. M. Churikov, Yu. E. Kapitzky, A. Yu. Savchenko and B. Ya. Zel'dovich, Polarization effects on induced $\chi^{(2)}$ tensor properties in bulk glass. // Pure Appl. Opt., 1992, v.1, n.6, p.289-293.
5. М. А. Болштыанский, Б. Я. Зельдович, Ю. Е. Капицкий, А. Ю. Савченко, В. М. Чуриков, Влияние поляризации на свойства наведенного $\chi^{(2)}$ тензора в объемном стекле. // Квантовая электроника, 1992, т. 19, в. 11, с. 1136-1138.
6. Б. Я. Зельдович, И. В. Мочалов, В. И. Копи, М. А. Болштыанский, Ю. Е. Капицкий, А. Ю. Савченко, В. М. Чуриков, Наведенная генерация второй гармоники в цветных стеклах. // Квантовая электроника, 1993, т. 20, в. 8, 805-807

7. М. А. Болштынский, Б. Я. Зельдович, А. Ю. Савченко, В. М. Чуриков, Измерение фазы $\chi^{(2)}$ голограммы, записанной в стекле. // Письма в ЖТФ, 1993, т. 19, в. 9, с. 90-94.
8. M. A. Bolshtyansky, V. M. Churikov, Yu. E. Kapitzky, A. Yu. Savchenko and B. Ya. Zel'dovich, Phase properties of $\chi^{(2)}$ gratings in glass. // Opt. Lett., 1993, v.18, n.15, p.1217-1219.
и тезисах докладов на конференциях:
9. V. M. Churikov, Yu. E. Kapitzky, and B. Ya. Zel'dovich, $\chi^{(2)}$ gratings in bulk glasses. // Quantum Electronics and Laser Science Conference, Baltimore, 1991, Technical Digest Series, v.11, p. 48-49.
10. Б. Я. Зельдович, Ю. Е. Капицкий, В. М. Чуриков, Некоторые особенности наведенных $\chi^{(2)}$ решеток в стеклах. // Тезисы XIV Международной конференции по когерентной и нелинейной оптике, Ленинград, 1991, т.1, стр. 110.
11. M. A. Bolshtyansky, V. M. Churikov, A. Yu. Savchenko and B. Ya. Zel'dovich, Tensor and Phase Properties of Second Order Polarizability Gratings in Glasses // Technical Digest of Topical Meeting on "Photorefractive Material, Effects, and Devices, Kiev, 1993, p.504-506.
12. М. А. Болштынский, Б. Я. Зельдович, А. Ю. Савченко, В. М. Чуриков, Исследование наведенной генерации второй гармоники в стеклах. // Тезисы конференции "Оптика лазеров '93", С.-Петербург 1993, т.2, стр. 337.

Список цитируемой литературы:

1. N. B. Baranova, B. Ya. Zel'dovich, Physical effects in optical fields with nonzero average cube $\langle E^3 \rangle \neq 0$. // J. Opt. Soc. Am. B,

10. N. M. Lawandy and M. D. Selker, Observation of second harmonic generation in bulk germanosilicate fiber preforms. // Opt. Commun., 1990, v.77, n.4, p.339-342.
11. R. L. Macdonald and N. M. Lawandy, High density optically encoded information storage using second harmonic generation in silicate glasses. // Opt. Commun., 1993, v.103, n.5,6, p.345-349.



Техн. редактор А. В. Миних

Издательство Челябинского
государственного технического университета

ЛР № 020364.20.01.93. Подписано в печать 10.02.94. Формат бумаги
БСКЗ4 1/16. Печать офсетная. Усл. печ. л. 0.93. Уб.-изд. л. 0.99.
Тираж 100 экз. Заказ 30458.

УОП издательства. 454020, г. Челябинск, пр. им. В. И. Ленина, 16.