

УДК 532.783

## ГЕНЕРАЦИЯ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ В НЕМАТИЧЕСКОМ ЖИДКОМ КРИСТАЛЛЕ

В. А. Еникеева<sup>1</sup>, А. С. Золотько, В. А. Макаров<sup>1</sup>, И. А. Ожередов<sup>1</sup>,  
В. Н. Очкин, А. П. Шкуринов<sup>1</sup>

*Экспериментально исследована генерация второй гармоники фемтосекундных лазерных импульсов в нематическом жидком кристалле. Установлено, что генерация второй гармоники световым пучком происходит в объеме образца жидкого кристалла, сопровождается люминесценцией и наблюдается только в присутствии светондущиванной переориентации директора.*

Генерация второй гармоники (ГВГ) оптического излучения тесно связана со структурой вещества и представляет несомненный интерес с точки зрения изучения фундаментальных свойств электронной оптической нелинейности.

Нематическая фаза жидких кристаллов обладает локальной инверсионной симметрией. Поэтому удвоение частоты оптического излучения в однородно ориентированном нематическом жидком кристалле (НЖК) вне полосы поглощения возможно только благодаря электроквадрупольной нелинейно-оптической восприимчивости, которая меньше электродипольной примерно на два порядка [1]. Реализация эффекта удвоения частоты оптического излучения на электродипольной нелинейности возможна только при нарушении инверсионной симметрии НЖК, например, воздействием постоянного электрического поля.

Эффект ГВГ в присутствии постоянного поля подробно изучен в [2]. В отсутствие постоянного поля ГВГ исследовалась в [3, 4]. В этих работах в качестве излучения накачки использовалось излучение лазеров с модулированной добротностью с плотностью

<sup>1</sup>Физический факультет и Международный учебно-научный лазерный центр МГУ им. М. В. Ломоносова.

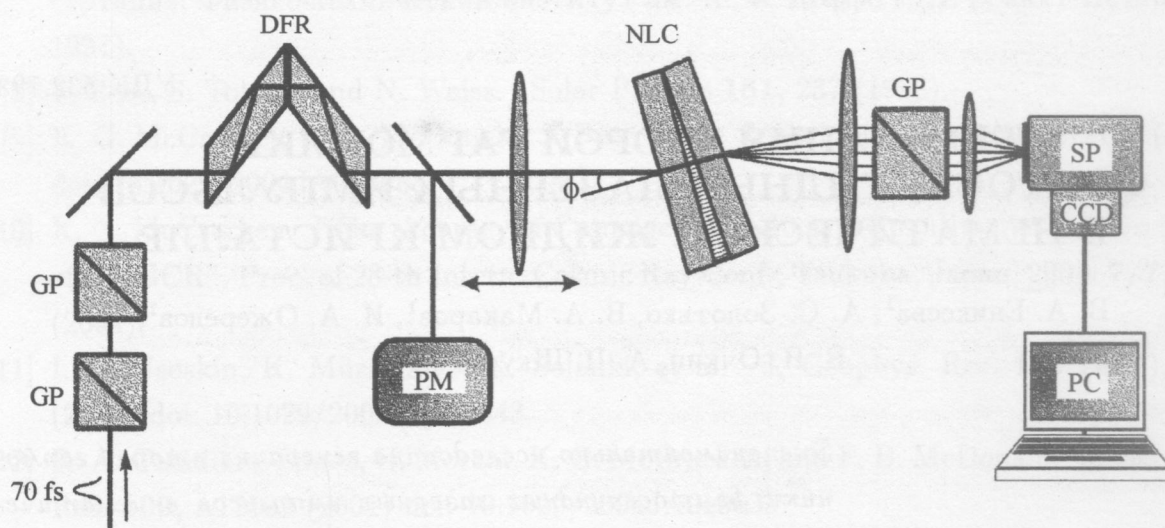


Рис. 1. Схе́ма экспериментальной установки: GP – призмы Глана-Тейлора, DFR – двойной ромб Френеля, PM – измеритель мощности, NLC – клиновидный образец НЖК, SP – спектрограф, CCD – цифровая многоканальная система регистрации на базе CCD, PC – персональный компьютер.

мощности порядка ГВт/см<sup>2</sup> [3] или 100 МВт/см<sup>2</sup> [4]. Частота повторения импульсов не превышала 12.5 Гц [4]. Возможность светоиндуцированного поворота директора в работах [3, 4] не анализировалась.

В настоящей работе проведено исследование ГВГ в НЖК под действием последовательности фемтосекундных импульсов. Как было показано нами ранее [5], световой пучок фемтосекундного излучения с достаточно большой пиковой мощностью (несколько ГВт/см<sup>2</sup>) и высокой частотой повторения ( $\sim 100$  МГц) вызывает светоиндуцированную переориентацию директора, которую легко детектировать по характерной абберационной картине. При этом заметные тепловые эффекты отсутствуют. Кроме того, в отличие от предшествующих работ по исследованию ГВГ в НЖК, благодаря многоканальной системе регистрации в нашей экспериментальной схеме, мы регистрировали сигнал не только на удвоенной частоте, но и в значительно более широком спектральном диапазоне.

*Условия и методика эксперимента.* В качестве источника фемтосекундных импульсов использовался твердотельный Ti:Sapphire лазер Tsunami (Spectra Physics Inc.), генерирующий импульсы длительностью 70 фс с частотой повторения  $f = 80$  МГц и со

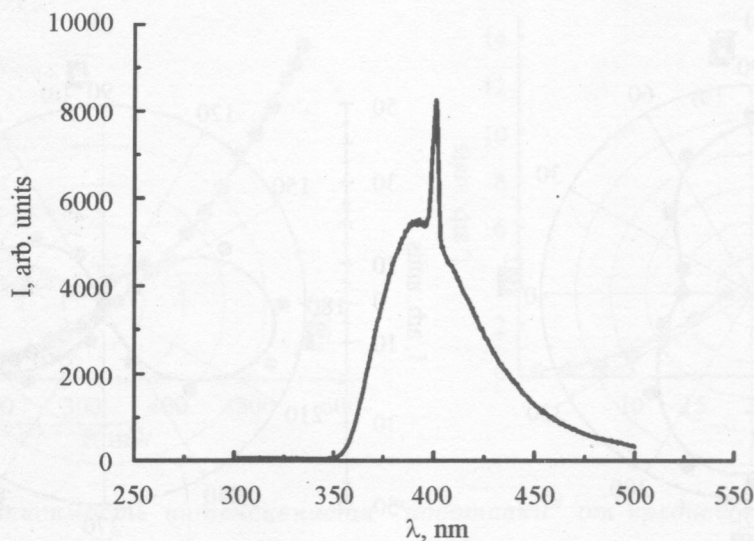


Рис. 2. Типичный спектр регистрируемого в окрестности длины волны второй гармоники сигнала, прошедшего через НЖК ( $P = 340$  мВт,  $\lambda = 800$  нм,  $d = 25$  мкм,  $\varphi = 20^\circ$ ).

средней мощностью до  $P = 1.5$  Вт с шириной спектра  $\Delta\lambda = 11$  нм с перестройкой в диапазоне длин волн  $\lambda = 710 - 990$  нм.

В экспериментальной схеме (рис. 1) были предусмотрены элементы для измерения и контроля энергетических и спектральных характеристик излучения. Для контроля длины волны падающего на образец излучения и режимов работы фемтосекундного лазера использовался спектрометр USB 2000 (Ocean Optics Inc.) (на рис. 1 не показан). Для выделения линейной поляризации и плавного изменения энергии излучения применялась комбинация двух призм Глана–Тейлора. Направление линейной поляризации излучения могло изменяться при помощи двойного ромба Френеля. Мощность излучения определялась с помощью измерителя мощности FieldMaster (Coherent Inc.). Излучение фокусировалось на образец линзой с фокусным расстоянием  $f = 10$  см. Для регистрации спектра излучения в окрестности частоты второй гармоники использовался спектрограф SP-2500 и цифровая многоканальная система регистрации Spec 10 на базе CCD (Princeton Instruments Inc.).

Образец НЖК представлял собой гомеотропно ориентированную ячейку клиновидной формы толщиной  $d = 0 - 40$  мкм. Ячейка была заполнена нематической матрицей E7, структурная формула и спектр поглощения которой приведены в работе [6]. Температура ее перехода из нематической фазы в изотропную составляет  $+58^\circ\text{C}$ . Измерения проводились при комнатной температуре.

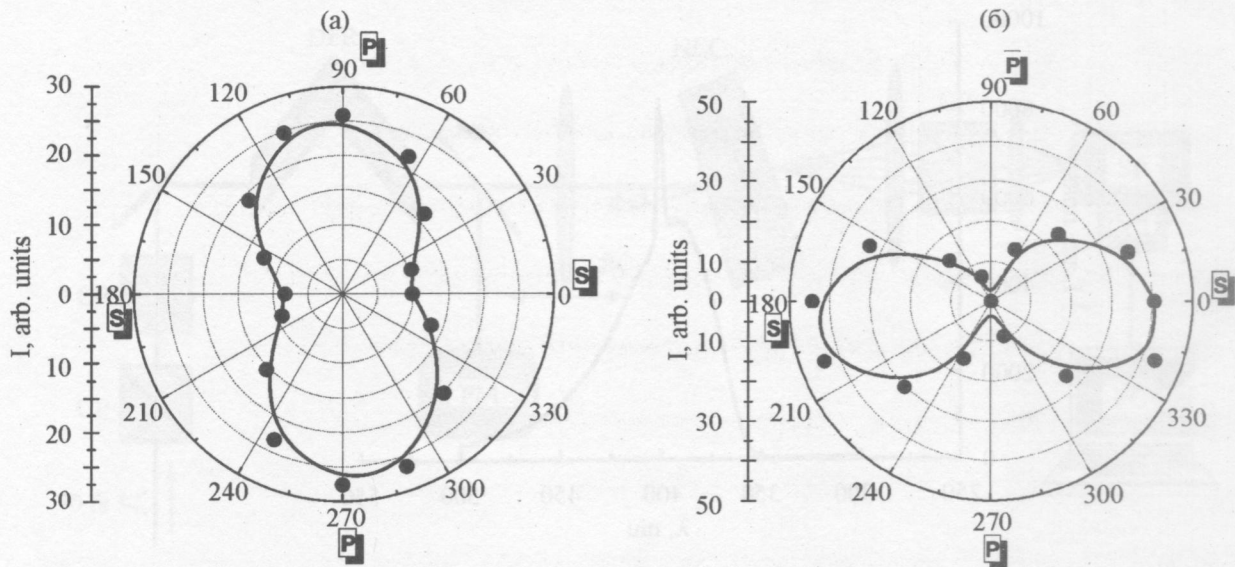


Рис. 3. Зависимость величины сигналов (а) “подставки” и (б) второй гармоники от угла поворота анализатора (нулевому углу соответствует поляризация перпендикулярно плоскости падения).

*Экспериментальные результаты.* Эксперименты проводились при наклонном падении фемтосекундного излучения с длиной волны  $\lambda = 800$  нм на образец НЖК под углом  $\varphi = 20^\circ$  в область, соответствующую толщине образца  $d = 25$  мкм.

В первой серии экспериментов изучалось распределение интенсивности в поперечном сечении пучка, прошедшего через НЖК. Если образец НЖК облучался  $p$ -поляризованным (т.е. поляризованным в плоскости падения) сфокусированным пучком фемтосекундных лазерных импульсов, то при мощности пучка  $P$ , большей 160 мВт, в поперечном сечении пучка начиналось формирование абберационной картины – системы из четких концентрических колец, появление которой связано с поперечной неоднородностью показателя преломления. При мощности излучения  $P = 500$  мВт число колец было равно 4. Характерное время формирования абберационной картины – 5 секунд – свидетельствовало об ориентационном характере нелинейной оптической восприимчивости (т.е. о том, что изменение показателя преломления НЖК вызвано светоиндуцированным поворотом директора). В случае  $s$ -поляризованного (т.е. поляризованного перпендикулярно плоскости падения) светового пучка абберационная картина не формировалась. Ее отсутствие связано с подавлением в этой геометрии эксперимента светоиндуцированной переориентации директора [7].

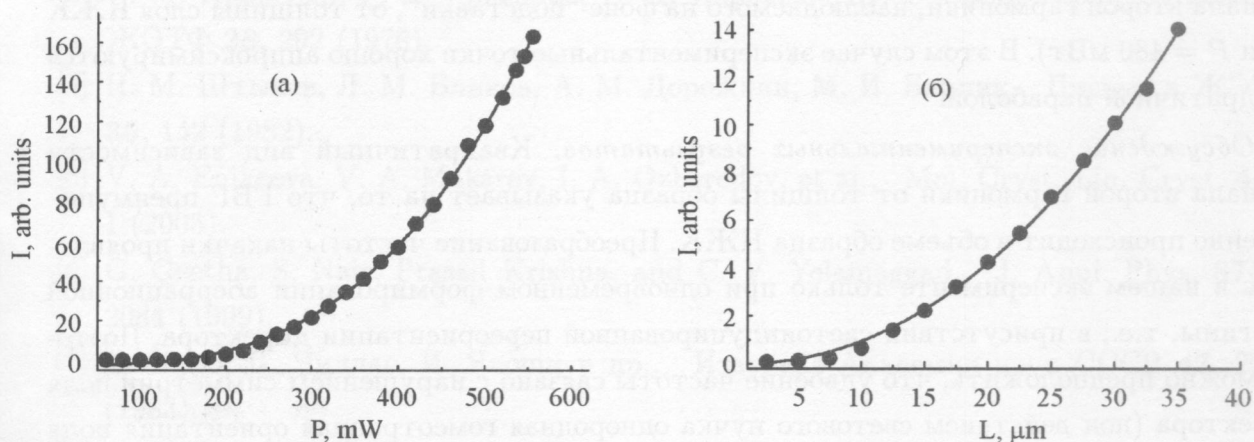


Рис. 4. (а) Зависимость интенсивности “подставки” от средней мощности  $P$  падающего на образец НЖК излучения. Сплошная линия – аппроксимация экспериментальных точек кубической зависимостью. (б) Зависимость сигнала второй гармоники от толщины жидкокристаллического слоя. Сплошная линия – аппроксимация экспериментальных точек квадратичной зависимостью.

Во второй серии экспериментов при  $p$  – поляризации излучения, падающего на образец НЖК, изучался спектр прошедшего излучения. Был зарегистрирован сигнал второй гармоники. При этом ГВГ происходила только при возникновении абберационной картины. На рис. 2 показан спектр регистрируемого сигнала, полученный при средней мощности падающего излучения  $P = 340$  мВт. Из рисунка видно, что спектр наблюдаемого сигнала второй гармоники имел значительную по амплитуде колоколообразную фоновую “подставку”.

В третьей серии экспериментов (рис. 3) при  $p$  – поляризованном падающем на образец излучении исследовалась поляризация прошедшего сигнала в области второй гармоники (измерения проводились при  $P = 400$  мВт). Из рис. 3 видно, что наблюдаемый сигнал “подставки” преимущественно  $p$ –поляризован, а сигнал второй гармоники имеет  $s$  – поляризацию.

Четвертая серия экспериментов была проведена для исследования интенсивности регистрируемого сигнала в области частоты второй гармоники в зависимости от средней мощности падающего на образец излучения и толщины ЖК слоя. График 4(а) получен для толщины образца  $d = 25$  мкм и иллюстрирует зависимость величины “подставки” от мощности падающего излучения. Видно, что зависимость имеет степенной вид с показателем, равным трем. На рис. 4(б) показана зависимость величины генерируемого

сигнала второй гармоники, наблюдаемого на фоне “подставки”, от толщины слоя НЖК (при  $P = 480$  мВт). В этом случае экспериментальные точки хорошо аппроксимируются квадратичной параболой.

*Обсуждение экспериментальных результатов.* Квадратичный вид зависимости сигнала второй гармоники от толщины образца указывает на то, что ГВГ преимущественно происходит в объеме образца НЖК. Преобразование частоты накачки проявлялось в нашем эксперименте только при одновременном формировании абберационной картины, т.е., в присутствии светоиндуцированной переориентации директора. Поэтому можно предположить, что удвоение частоты связано с нарушением симметрии поля директора (под действием светового пучка однородная гомеотропная ориентация поля директора нарушается и директор поворачивается тем больше, чем больше локальная интенсивность светового поля). Ранее ГВГ за счет нарушения центросимметричности НЖК светоиндуцированной решеткой наблюдалось в [8].

Наблюдаемая достаточно широкая полоса фоновой “подставки” характеризуется кубичной зависимостью ее интенсивности от средней мощности светового пучка. Можно предположить, что эта полоса соответствует люминесценции, в возбуждении которой важную роль играют трехфотонные нелинейно-оптические взаимодействия.

*Выводы.* В настоящей работе проведено экспериментальное исследование преобразования частоты фемтосекундных лазерных импульсов в гомеотропном образце нематического жидкого кристалла E7. Наблюдалась генерация второй гармоники, сопровождаемая широкой полосой излучения в окрестности частоты второй гармоники. Наблюдавшееся преобразование частоты может быть связано с изменением симметрии поля директора из-за эффекта светоиндуцированной переориентации.

Более детальное изучение процессов ГВГ и люминесценции в НЖК требует спектрального анализа прошедшего излучения в более широкой области, включающей частоту третьей гармоники, и является предметом будущих исследований.

Авторы благодарны М. И. Барнику за полезные обсуждения и интерес к работе. Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 04-02-17354).

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Г. А. Ляхов, Ю. П. Свирко, Труды ИОФАН 6, 24 (1987).
- [2] Н. М. Штыков, Л. М. Блинов, А. М. Дорожкин, М. И. Барник, ЖЭТФ 81(5), 1763 (1981).

- [3] С. М. Аракелян, Г. Л. Григорян, С. Ц. Нерсисян, Ю. С. Чилингарян, Письма в ЖЭТФ **28**, 202 (1978).
- [4] Н. М. Штыков, Л. М. Блинов, А. М. Дорожкин, М. И. Барник, Письма в ЖЭТФ **35**, 142 (1982).
- [5] V. A. Enikееva, V. A. Makarov, I. A. Ozheredov, et al., Mol. Cryst. Liq. Cryst. **442**, 1 (2005).
- [6] G. Geetha, S. Nair, Prasad Krishna, and C. V. Yelamaggad, J. Appl. Phys. **87**(5), 2084 (1999).
- [7] Н. Кроо, Л. Чиллаг, И. Яноши и др., Известия Академии наук СССР **47**, 2027 (1983).
- [8] А. В. Сухов, Р. В. Тимашев, Письма в ЖЭТФ **51**(7), 364 (1990).

Поступила в редакцию 29 декабря 2006 г.