

Курбонов Хусниддин Холмурод угли, магистрант,
Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан
Qurbonov Xusniddin Holmurod o'g'li, master student,
Tashkent state technical university, Tashkent, Uzbekistan

Юсупов Джавдат Бакиджанович, доктор физико-математических наук,
Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан
Yusupov Djavdat Bakidjanovich, DSc. in physics and mathematics
Tashkent state technical university, Tashkent, Uzbekistan

**ВОПРОСЫ ГЕНЕРАЦИИ ТРЕТЬЕЙ ГАРМОНИКИ
В НЕЛИНЕЙНЫХ ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛАХ
ON THE GENERATION OF THIRD HARMONICS
IN THE NONLINEAR PHOTONIC CRYSTALS**

Аннотация. Обсуждаются вопросы генерации третьей гармоники в нелинейных фотонных кристаллах. Изучена схема установки, в котором лазер YAG:Nd³⁺, имеющий основную длину волны 1064 нм является основной гармоникой, а генерируемая волна 355 нм. Далее, измеряя мощности входящей и выходящей лучей можно будет оценить степень эффективности генерации.

Abstract. The generation possibility of third harmonics in the nonlinear photonic crystals has been studied. The device scheme in which YAG:Nd³⁺ laser with main wave length 1064 nm is the basic harmonics and the generating wave is 355 nm has ben studied. Further, after measuring powers of input and output rays we can estimate the efficiency degree of the device.

Ключевые слова: генерация, третья гармоника, нелинейные фотонные кристаллы.

Keywords: generation, third harmonics, nonlinear photonic crystal.



С развитием нелинейной оптики появились возможности генерации высоких гармоник. В связи с этим в последнее время проводятся исследования по генерации третьей генерации. Так, например, в работе [1] в терагерцовом (THz) диапазоне исследована нелинейная дифракция плоской электромагнитной волны на многослойных нелинейных метаповерхностях, состоящих из двумерно-периодических решеток прямоугольных графеновых лент конечной длины на разделительных диэлектрических слоях. Было показано увеличение на несколько порядков эффективности генерации третьей гармоники на частотах резонанса поверхностного плазмон-поляритона. Также было выявлено, что частоту генерации третьей гармоники можно регулировать путем динамической перестройки химического потенциала без изменения геометрии и размеров нелинейной графеновой метаповерхности.

В условиях неколлинеарной геометрии в работе [2] были исследованы фазовые синхронизмы генерации третьей гармоники в холестерическом жидком кристалле при наклонном падении по отношению к оптической оси кристалла световой волны основной частоты ω . Оптические свойства жидких кристаллов находят успешное применение в системах обработки оптической информации, фильтрации и поляризации излучения, анализа спектров, формирования и распознавания оптических образов в устройствах отображения информации, в частности в контактной и дистанционной термографии.

Еще в одной работе [3] были представлены результаты исследований по генерации третьей гармоники в воздухе от фемтосекундного лазерного излучения. Были представлены результаты исследований генерации третьей гармоники в воздухе от лазерного излучения с длиной волны 1032 нм. Источником лазерного излучения выступал иттербиевый фемтосекундный лазер, который формировал импульсы длительностью примерно 250 фс с частотой следования 1 кГц. Средняя выходная мощность лазера достигала 1750 мВт. Максимальная пиковая интенсивность возбуждающего лазерного излучения составляла до 10 ТВт/см². При фокусировке лазерного излучения происходила его филаментация, которая сопровождалась генерацией излучения



третьей гармоники на длине волны 344 нм. Были исследованы спектральные, энергетические и пространственные характеристики генерируемого излучения третьей гармоники. Энергетические измерения проводились вплоть до пороговых мощностей излучения накачки, при которых начинали возникать конкурирующие нелинейные процессы в оптических элементах схемы экспериментальной установки. Максимальная средняя мощность излучения третьей гармоники составила 1,52 мВт при эффективности преобразования в третью гармонику около 0,085 %. Профиль пучка в дальней зоне имел симметричный гауссов профиль с расходимостью излучения 0,11 мрад, что соответствует дифракционному качеству пучка.

Известно, практически все задачи высоких гармоник не поддаются аналитическому решению. В связи с чем большинство ученых опираются на численные методы. Так, например в работе [4] был рассмотрен численный практический подход моделирования линии задержки на поверхностных акустических волнах. Был показан принцип работы преобразователей с расщепленными электродами на гармониках. Были приведены практические рекомендации и алгоритм расчета для моделирования в пакете COMSOL Multiphysics. Характеристики адмиттанса были рассчитаны из моделирования линии задержки на поверхностных акустических волнах с помощью метода конечных элементов в COMSOL. В результате расчета полученные Y-параметры были преобразованы к полному набору S-параметров. Рассматриваемый численный подход на основе метода конечных элементов дал возможность рассчитать линию задержки на поверхностных акустических волнах с учетом «вторичных эффектов». Были представлены результаты расчета амплитудно-частотной характеристики линии задержки с относительной полосой пропускания 7,46 % для частоты 1,5 ГГц на подложке 128° YX-среза ниобата лития. Входной встречно-штыревой преобразователь работает на основной гармонике, выходной преобразователь - на третьей гармонике.

Высокий интерес к фотонным кристаллам вызван перспективой их практического применения. Эти искусственные среды представляют собой



периодические диэлектрические структуры с периодом, сравнимым с длиной волны света. Одно из основных свойств фотонных кристаллов – наличие фотонных запрещенных зон, т.е. такого диапазона частот, с которыми свет не может распространяться через фотонные кристаллы. Именно наличие фотонных запрещенных зон и решеточно индуцированной дисперсии света дает возможность контролировать с помощью фотонных кристаллов скорость спонтанных переходов, замедлять свет, создавать микролазеры и волноводы со сверхмалым радиусом изгиба, усиливать нелинейно-оптические эффекты.

Наиболее простой класс фотонных кристаллов – одномерные фотонные кристаллы, которые имеют периодичность только в одном направлении. Такие структуры в основном исследовались в геометрии Брэгга. Развитие методики изготовления многослойных фотонных кристаллов позволило исследовать брэгговскую дифракцию света в фотонных кристаллах в схеме Лауэ. Актуальность таких исследований связана с возможностью наблюдения явлений, прежде обнаруженных в традиционных кристаллах: маятниковый эффект и эффект Бормана. При помощи численного моделирования было показано, что оптический аналог маятникового эффекта может быть использован в качестве мультиплексора и оптического переключателя, а эффект Бормана для монохроматизации излучения.

Основная отличительная черта фотонно-кристаллических оптических устройств состоит в высоком контрасте показателей преломления таких периодических структур, определяемым, как разность показателей преломления структурных элементов $\Delta n = n_1 - n_2$ (например, для кремния с воздушными отверстиями $\Delta n \sim 3.5$), по сравнению с этой величиной для рентгеновского излучения ($\Delta n \sim 10^{-5}$). Оптические эффекты в условиях сильной модуляции показателя преломления могут проявлять новые свойства. Поэтому изучение маятникового эффекта и эффекта Бормана в фотонных кристаллах представляет значительный интерес. Актуальность соответствующих исследований, помимо фундаментальной значимости, определяется возможностью практического использования этих эффектов.



В настоящей работе обсуждаются вопросы применения нелинейных фотонных кристаллов для возможной генерации в них третьей гармоники. Для этой цели собрана параметрическая приставка-преобразователь.

Параметрическая приставка-преобразователь представляет собой параметрический генератор света и предназначена для преобразования излучения третьей гармоники (355 нм) лазера YAG:Nd³⁺ с модулированной добротностью в перестраиваемое излучение ближней инфракрасной и видимой областей спектра. В качестве «активного» элемента используется нелинейный кристалл бета-бората бария, вырезанный для преобразования по II типу (*oee*) коллинеарного синхронизма. Оптическая схема и расположение элементов приставки-преобразователя представлены на рисунке 1

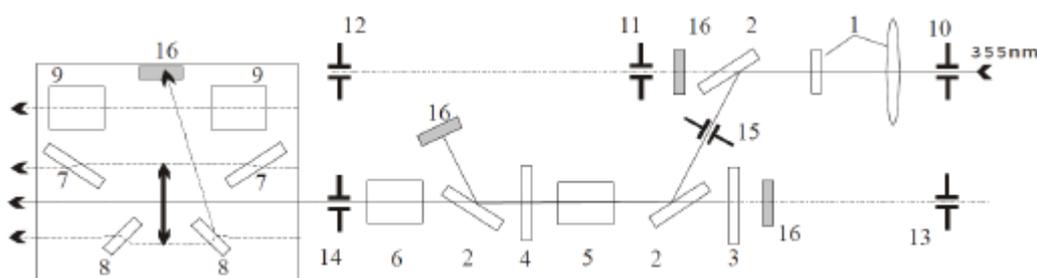


Рис. 1. Оптическая схема ОРО, 1 – фокусирующий телескоп, 2 – поворотные «глухие» зеркала для излучения накачки, 3 – «глухое» зеркало резонатора для сигнальной волны, 4 – выходное зеркало резонатора; 5 – кристалл бета-бората бария, 6 – компенсатор, 7 – спектроделители для диапазона 414-560 нм, 8 – спектроделители для диапазона 560-709 нм, 9 – спектроделители для диапазона 710-2300 нм, 10-15 – диафрагмы юстировочные, 16 – поглощающие фильтры.

Резонатор образован «глухим» зеркалом (3) и выходным зеркалом (4). Излучение накачки проходит через телескоп Галилея (1) и вводится в резонатор с помощью поворотного зеркала (2). Телескоп обеспечивает необходимую плотность и расходимость возбуждающего излучения. Перестройка производится наклоном кристалла ВВО в вертикальной плоскости с помощью микровинта. Специальная диафрагма (15) из кварцевого стекла отсекает отраженные от кристалла блики. Специальный компенсатор (6) из стекла КУ-1



разворачивается одновременно с кристаллом ВВО, компенсируя параллельный снос пучка генерации ОРО при наклонах активного элемента.

Выходное излучение состоит из коллинеарных пучков сигнальной, холостой волн и остаточного (непреобразованного) излучения накачки. Остаточное излучение накачки отрезается поворотным зеркалом (2). Излучение сигнальной и холостой волн разделяются спектроделительными зеркалами (7-9). Спектроделительные зеркала имеют несколько фиксированных положений, обеспечивающих выделение следующих спектральных диапазонов: S1 (415 – 560 нм), S2 (560 – 709 нм), S+I (на выходе одновременно излучение сигнальной и холостой волн, режим «No WS»), I (710 – 2300 нм).

Предложенная схема установки позволяет получить генерацию третьей гармоники, в котором лазер YAG:Nd³⁺ является основной гармоникой. Далее, измеряя мощности входящей и выходящей лучей можно будет оценить степень эффективности генерации.

Список литературы:

1. Лерер А.М., Макеева Г.С., Черепанов В.В. Генерация третьей гармоники терагерцовых волн нелинейной графеновой многослойной метаповерхностью // Оптика и спектроскопия. 2021. 129 № 1. С. 89-91.
2. Шипов Н.В. К вопросу генерации третьей гармоники в холестерическом жидком кристалле в неколлинеарной геометрии // Инновации и инвестиции. 2021. № 4. С. 195-198.
3. Гладышев В.О., Николаев П.П., Скрабатун А.В., Шарандин Е.А. Генерация третьей гармоники при фокусировке фемтосекундного излучения с длиной волны 1032 нм в воздухе // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия естественные науки. 2021. № 6 (99) С. 35-44.
4. Koigerov A.S., Balysheva O.L. Finite element simulation of saw delay line operating with the use of third harmonic frequency // Computing, telecommunications and control. 2022. Т. 15. № 1. С. 40-50.

