

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ЧЕТВЕРТОЙ ГАРМОНИКИ НЕОДИМОВОГО МИКРОЧИП ЛАЗЕРА ВО ВНЕШНЕМ РЕЗОНАТОРЕ

Одно из современных применений лазерных источников ультрафиолетового излучения (УФ) – создание лидаров, то есть оптических приборов, предназначенных для бесконтактного контроля характеристик объектов наблюдения, например, состава газовой смеси.

Достаточно привлекательным вариантом построения УФ микролидара является использование в нем микрочип Nd:LSB. Само схемное исполнение такого лазера подразумевает минимальные габариты и энергопотребление.

В рамках работы по созданию микролидара был изготовлен и исследован микрочип лазер. Как показали измерения, он имел достаточно высокие типовые характеристики. Лазер генерировал одномодовое излучение на длине волны $\lambda = 0,532$ мкм со средней выходной мощностью 200 мВт. Длительность импульса излучения составляла 5 нс. Частота повторения импульсов – 50 кГц. Прямое преобразование излучения этого лазера в УФ путем установки непосредственно на выходе лазера кристалла ВВО длиной 3мм, позволило получить мощность УФ в 1 мВт, что равносильно уровню преобразования $\sim 0,5$ %. Для ряда применений такой мощности вполне достаточно. Реализация же 10-20 % преобразования, т.е. получения 10-20 мВт в УФ, позволяет рассчитывать на существенное увеличение чувствительности измерений и расширение области применений микролидара в конкуренции с существенно более мощными и габаритными источниками.

Эффективность удвоения при небольших коэффициентах преобразования растет согласно квадратичной зависимости $P_{4\omega} = k \cdot (P_{2\omega}/S)^2$ ($P_{4\omega}$, $P_{2\omega}$ – мощности гармоник частоты ω , S – площадь сечения области, занятой полем в месте удвоения). Ее рост возможен только при увеличении плотности мощности поля второй гармоники и при условии, что не будет достигнут предел оптической прочности используемых материалов.

Уменьшать размеры области, занятой полем, в нашем случае невозможно. Поперечные размеры поля на выходе лазера составляют ~ 70 мкм. Дальнейшее их уменьшение скажется на выполнении ряда условий, влияющих на эффективность преобразования, в частности, фазового синхронизма в ВВО. Поэтому речь может идти только об увеличении мощности излучения в месте преобразования, например, при использовании внешнего резонатора. Идея такого подхода к повышению эффективности нелинейных преобразований исследовалась ранее в различных работах.

Получение УФ от неодимовых лазеров – результат двукратного нелинейного преобразования основной частоты. Особенность микрочип лазера в том, что это маломощный источник. Рассмотренный выше вариант его реализации уже включает внутрирезонаторное удвоение частоты. Более того, получение излучения мощностью в 200 мВт на 0,532 мкм фактически означает оптимальную нагрузку для лазера. Проведение второго нелинейного преобразования в резонаторе (на 0,531 мкм) ставит вопрос о выборе схемы его возбуждения. В настоящей работе проведено численное моделирование процесса получения второй гармоники в резонаторе, показанном на рис. 1, для оценки потенциальных возможностей этого метода повышения поля для генерации УФ излучения микрочип лазера.

При проведении оценок полагалось, что поле с $\lambda = 0,531$ мкм, возникающее в резонаторе, имеет распределение, близкое к его основной моде. Считалось также, что для спектральных компонент излучения (средняя частота группы волн, соответствующих импульсу излучения) длина резонатора равна целому числу длин волн (можно обеспечить путем подстройки длины резонатора). Энергия поля второй гармоники в резонаторе растет в

результате прохождения импульса излучения основной частоты через резонатор. В такой ситуации результат суммирования полей второй гармоники при их распространении в резонаторе представлялось возможным получить, исходя из закона сохранения энергии. Считалось также, что эффективность преобразования поля во вторую гармонику не превышает 20 - 30%. Мощность поля в резонаторе с $\lambda = 0,531$ мкм, ее временная зависимость определяются длиной резонатора, потерями внутри него, формой исходного импульса.

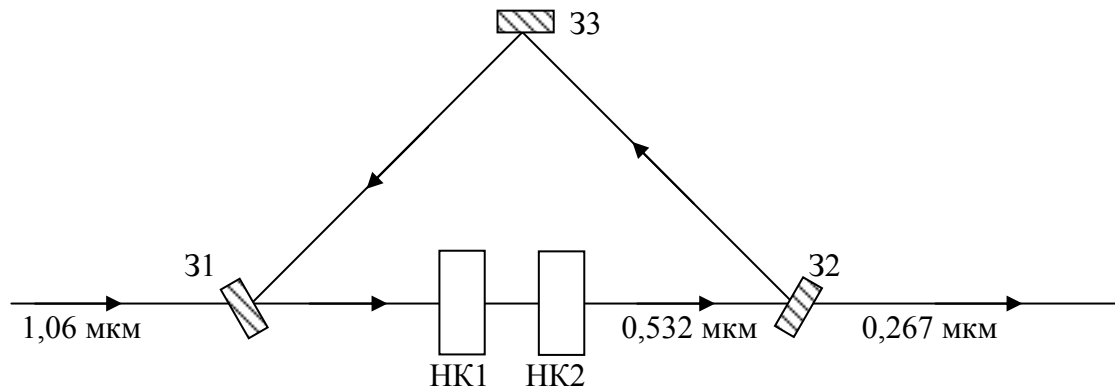


Рис. 1. Резонатор для получения УФ излучения.

31-33 – зеркала резонатора (максимальное отражение на 0,531 мкм; 31 – максимальное пропускание на 1,06 мкм; 32 – максимальное пропускание на 0,531 мкм); НК1,НК2 –нелинейные кристаллы, соответственно КТР и ВВО

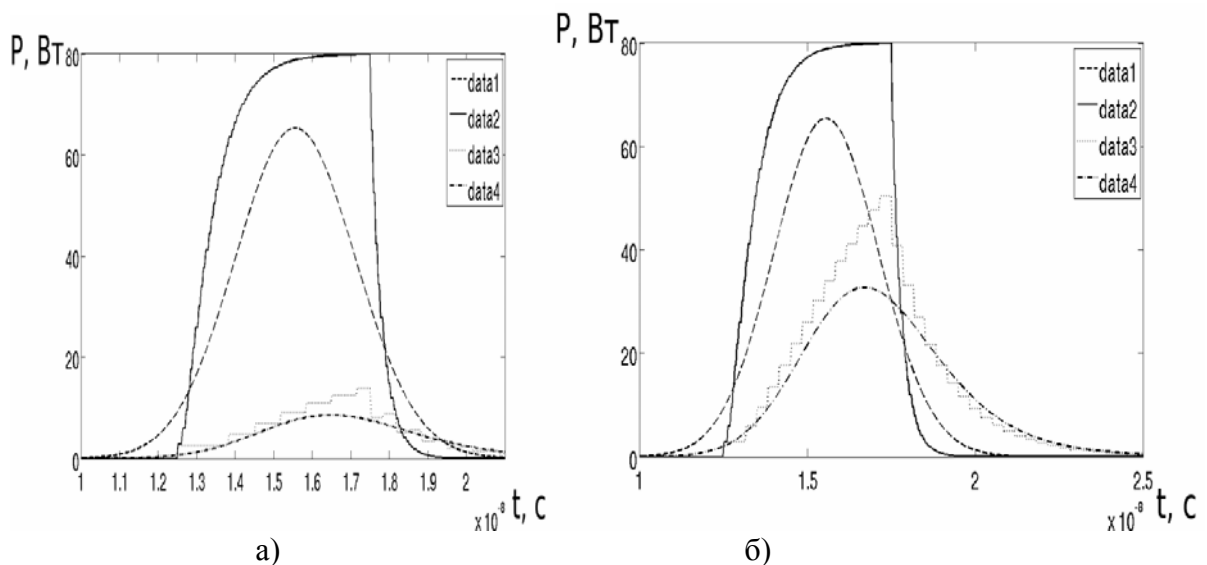


Рис. 2. Результаты расчета поля в резонаторе.

а) Зависимость мощности поля четвертой гармоники от величины потерь в резонаторе (длина резонатора 20 мм): data1 – импульс гауссовой формы, потери 10%; data2 – импульс прямоугольной формы, потери 10%; data3 – импульс прямоугольной формы, потери 20%; data2 – импульс гауссовой формы, потери 20%; б) Зависимость мощности поля четвертой гармоники от длины резонатора (потери 10%): data1 – импульс гауссовой формы, длина резонатора 20 мм; data2 – импульс прямоугольной формы, длина резонатора 20 мм; data3 – импульс прямоугольной формы, длина резонатора 100 мм; data2 – импульс гауссовой формы, длина резонатора 100 мм. Длительность импульса основной частоты в обоих случаях 5 нс

Длина резонатора непосредственно влияет на скорость нарастания и спада поля. Минимальная длина равна оптической длине используемых нелинейных кристаллов и составляет 10мм. Максимальная – равна длительности импульса основной частоты.

Потери в резонаторе включают поглощение и рассеяние поля при его распространении через резонатор, а также потери на рассогласование исходного поля и собственных мод резонатора. В реальных условиях потери на проход могут составлять десятки процентов. Поэтому расчет предполагал варьирование этого параметра в широких пределах.

В плане учета влияния формы импульса рассматривались два случая. В одном из них поле излучения аппроксимировалось прямоугольными во времени импульсами, удобными для аналитических расчетов. Во втором – импульсами гауссовой формы, что ближе к реальной форме импульсов. Длительность импульса выбиралась равной 5 нс.

Поставленная задача предполагала получение оценок уровня УФ излучения. За основу для этих вычислений бралась ранее измеренная эффективность преобразования за проход. Поперечные размеры поля в месте НК2 считались прежними. На рис.2 приведены временные зависимости мощности УФ импульса при средней мощности второй гармоники 200 мВт. Это максимальная мощность, на которую можно было бы рассчитывать в данном случае. Энергия в импульсе соответствует 10 % (20 мВт) преобразованию.

Из полученных результатов следует, что поставленная задача может быть решена только с сохранением внутрирезонаторного получения второй гармоники. В схемотехническом плане это могут быть либо два вложенных резонатора, либо возбуждение резонатора на 0,532 мкм полем второй гармоники, полученным в исходной схеме.