

УДК 621.373.826; 535:530.182

Д.Е. ГЕНИН*, Д.В. БЕЛОПЛОТОВ**, А.Г. СИТНИКОВ*, А.Н. ПАНЧЕНКО*, А.Е. ТЕЛЬМИНОВ**,
С.Ю. САРКИСОВ***, А.И. ЧЕРНЫШОВ***

ГЕНЕРАЦИЯ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ CO₂-ЛАЗЕРА В РЕЖИМЕ САМОСИНХРОНИЗАЦИИ МОД В КРИСТАЛЛАХ GaSe и GaSeS

Приведены результаты экспериментов по получению генерации второй гармоники в кристаллах GaSe и GaSeS при работе CO₂-лазера в режиме самосинхронизации мод. Благодаря использованию такого режима удалось увеличить эффективность преобразования излучения при одновременном уменьшении энергии лазерного импульса. Впервые проведены оценки эффективности преобразования излучения в кристалле GaSeS.

Ключевые слова: генерация второй гармоники, CO₂-лазер, кристалл GaSe.

В последнее время проводятся активные исследования, направленные на расширение диапазона частот генерации лазеров вплоть до терагерцового диапазона с помощью преобразования излучения в нелинейных кристаллах. С другой стороны, синтезируются новые кристаллы с неизвестными нелинейными восприимчивостями, которые могут быть определены по результатам измерения параметров нелинейно-оптических эффектов соответствующих порядков. В простейшем случае нелинейная восприимчивость второго порядка может быть определена из экспериментов по генерации второй гармоники (ГВГ).

Кристаллы селенида галлия являются перспективными материалами для нелинейной оптики среднего ИК- и терагерцового диапазонов [1]. Основными достоинствами этого материала являются: широкий диапазон прозрачности 0,65–18 мкм, малое оптическое поглощение $< 0,1 \text{ см}^{-1}$, высокая нелинейная восприимчивость, высокая лучевая прочность, возможность достижения фазового синхронизма для различных типов нелинейных взаимодействий. С другой стороны, кристаллы GaSe обладают недостатками, связанными с низкой твердостью и слоистой структурой. Увеличению твердости кристаллов способствует их легирование [2], например, серой. В лаборатории полупроводникового материаловедения СФТИ был выращен кристалл GaSeS с содержанием серы 7 %. Перспективным является его использование в экспериментах по генерации ТГц-излучения. Появилась необходимость экспериментального определения его нелинейной восприимчивости второго порядка, что может быть осуществлено при помощи опытов по ГВГ CO₂-лазера в этих кристаллах.

Как известно, для получения высоких мощностей преобразованного по частоте излучения необходимо использовать значительные мощности излучения накачки. С другой стороны, мощность накачки ограничена порогами пробоя кристаллов, которые измерены, например, в работах [3, 4]. Таким образом, в идеальном случае максимально возможная доля энергии импульса накачки должна вкладываться при высоком уровне мощности.

Под действием излучения кристалл нагревается, из-за чего может быть поврежден, кроме того, при этом изменяются его оптические характеристики, что ведёт к уходу от синхронизма и снижению эффективности ГВГ. Для уменьшения влияния нагрева импульс накачки должен быть максимально коротким.

Одним из способов получения коротких импульсов CO₂-лазера является использование режима самосинхронизации мод. Целью данной работы было получение ГВГ в кристаллах GaSe и GaSeS в двух различных режимах работы импульсного CO₂-лазера и сравнение полученных результатов. В первом случае лазерный импульс имел «классическую» временную форму с мощным лидирующим пиком (до 1,6 МВт, 50 нс на полувысоте) и «азотным хвостом». Во втором случае импульс из-за самосинхронизации мод разбился на отдельные короткие пички (2–4 нс на полувысоте). При этом пиковая мощность отдельных пичков достигла 1,9 МВт.

В этих режимах были проведены опыты по ГВГ CO₂-лазера в кристалле GaSe толщиной 6 мм.

В первом случае энергия импульса лазера составляла 180 мДж, КПД процесса по энергии достиг 0,38 %, а максимальный мгновенный КПД (соотношение пиковых мощностей импульсов) – 0,51 %.

Несмотря на то, что во втором случае энергия импульса была существенно меньше (порядка 70–80 мДж), КПД ГВГ по энергии увеличился примерно в 7 раз и достиг 3 %.

Также был проведён теоретический расчёт мощности и эффективности ГВГ в GaSe. Для моноимпульсного режима наблюдалось хорошее совпадение результатов, а в случае самосинхронизации мод расхождение было почти на порядок. Данное обстоятельство говорит о том, что длительности пиков на самом деле меньше, чем было измерено, и соответственно пиковая мощность должна быть выше. Совпадение результатов расчёта и эксперимента ожидается для случая, когда пиковая мощность выше в 3-4 раза. К сожалению, временное разрешение имеющейся системы регистрации не позволило получить достоверную форму импульса лазерного излучения. Косвенным подтверждением данного предположения является тот факт, что при увеличении выходной энергии лазера всего до 120 мДж наблюдался пробой кристалла, тогда как в работе [4] данное явление имело место при 180 мДж энергии и с более жёсткой фокусировкой излучения.

Измерение энергии сигнала ГВГ на кристалле GaSeS толщиной 3,7 мм в прямую провести не удалось. Была осуществлена одновременная регистрация сигналов лазера и ГВГ. В этом случае лазерное излучение, отражённое от кристалла, регистрировалось датчиком ФП-1, а сигнал второй гармоники – приёмником ФСГ-22. Энергия импульса накачки при этом несколько увеличена, примерно до 100 мДж. Отсюда можно оценить параметры импульса ГВГ на кристалле GaSeS. В случае с чистым GaSe сигнал второй гармоники приходилось ослаблять 10 слоями лавсана для работы приёмника в линейном режиме. Пропускание такого фильтра составляет 0,6–1 % на длине волны 5,3 мкм. Для GaSeS амплитуда сигнала в 2–2,5 раза ниже. То есть в результате имеем пиковую мощность ГВГ, примерно в 200–250 раз меньшую, чем для нелегированного кристалла. Если предположить, что формы импульсов подобны, то их энергии и КПД процессов должны отличаться во столько же раз. Таким образом, при энергии импульса накачки 100 мДж ГВГ на кристалле GaSeS толщиной 3,7 мм должно происходить с энергией около 8 мкДж и эффективностью 0,015 %.

В целом, можно сделать вывод, что режим синхронизации мод предпочтительнее с точки зрения эффективности преобразования энергии CO₂-лазера по сравнению с моноимпульсным режимом генерации. Режим, реализованный нами в данной работе, с точки зрения получения ГВГ излучения CO₂-лазера имеет следующие преимущества:

1. Техническая реализация данного режима сравнительно проста.
2. Значительная часть энергии импульса вкладывается в кристалл при высоком уровне мощности, что означает высокую эффективность преобразования.
3. Пички имеют малую длительность, за счёт чего минимизируется вредное воздействие на кристалл. Возможно, что в таком режиме лучевая стойкость кристалла может оказаться выше, чем для случая моноимпульса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shi W. and Ding Y. J. // Appl. Phys. Lett. – 2004. – V. 84. – No. 10. – P. 1635–1637.
2. Sarkisov S. Yu., Morozov A. N., Kazakov A. V., et al. // Proc. – Tomsk: The Tomsk IEEE Chapter & Student Branch. International Siberian Conference on control and communication (SIBCON-2009). – Tomsk, March 27–28. – 2009. – P. 138–142.
3. Andreev Yu. M. et al. // Kvant. Electron. – 2001. – V. 31. – No. 12. – P. 1075.
4. Березная С. А., Генин Д. Е., Коротченко З. В. и др. // Изв. вузов. Физика. – 2010. – Т. 53. – № 9. – С. 65–70.

*Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск, Россия

Поступила в редакцию 15.06.12.

**Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

***Сибирский физико-технический институт им. В.Д. Кузнецова

Национального исследовательского Томского государственного университета, г. Томск, Россия

E-mail: dm_genin@vtomske.ru

Генин Дмитрий Евгеньевич, аспирант;
Белоплотов Дмитрий Викторович, магистрант;
Ситников Алексей Геннадьевич, к.ф.-м.н., науч. сотр.;
Панченко Алексей Николаевич, к.ф.-м.н., ст. науч. сотр.;
Тельминов Алексей Евгеньевич, к.ф.-м.н., науч. доцент;
Саркисов Сергей Юрьевич, к.ф.-м.н., зав. лабораторией;
Чернышов Андрей Иванович, к.ф.-м.н., ст. науч. сотр.