Н.А. Николаев¹, А.А. Рыбак^{1,2}, А.А. Мамрашев¹, В.Д. Анцыгин¹

¹Институт автоматики и электрометрии СО РАН, Новосибирск, 630090, Пр. Ак. Коптюга 1

²Новосибирский государственный университет, Новосибирск, 630090, Пирогова 2

тел: +7 (383) 330-84-53, эл. почта: nazar@iae.nsk.su

DOI 10.34077/RCSP2021-117

Существующая тенденция роста несущих частот оптических линий связи (длина волны 1,5 мкм) до сотен ГГц [1] требует развития миллиметровых (субтерагерцовых) технологий. В частности, идет поиск материалов, обеспечивающих эффективное взаимодействие оптического и ИК излучения с миллиметровыми волнами (100–300 ГГц). Поскольку существует проблема ограниченного быстродействия устройств «классической» электроники на обозначенных частотах, пропагандируется оптико-оптическое преобразование лазерного излучения в миллиметровый диапазон и обратно, т.е. минуя устройства классической электроники. Такое преобразование может быть основано на принципах нелинейной кристаллооптики.

Признанными лидерами по эффективности оптико-терагерцового преобразования являются сегнетоэлектрические кристаллы, в частности ниобат лития LiNbO_3 [2] и титанил фосфат калия KTiOPO_4 [3]. Это является следствием правила Миллера, утверждающего, что квадратичная диэлектрическая восприимчивость (эффективная нелинейность) пропорциональна произведению линейной восприимчивости на каждой из взаимодействующих частот. А согласно многим работам, в частности выполненным еще советскими исследователями в 60х годах [7], значения нелинейных коэффициентов сегнетоэлектриков внутри миллиметрового диапазона могут превышать значения для оптической области на 4-5 порядков.

Дополнительно, в контексте интегральных оптических технологий перспективы использования сегнетоэлектриков обусловлены возможностью создания периодических структур и волноводов путем полинга. В результате из-за формирования искусственного синхронизма и повышения концентрации оптических и радио (миллиметрового) полей в таких структурах значительно возрастает эффективность взаимодействия частот как с их понижением (даунконверсия, генерация разностных частот) [4] так и повышением (апконверсия, генерация суммарных частот) [5]. В частности, последнее подтверждается свежими работами, демонстрирующими возможность эффективного детектирования низкоинтенсивных терагерцовых волн посредством двухкаскадной апконверсии в кристалле ниобата лития [6].

Описанные факторы позиционируют сегнетоэлектрики, как потенциально перспективные нелинейные среды для миллиметровой фотоники и радиофотоники. В данной работе представлены результаты исследования диэлектрической восприимчивости в миллиметровом диапазоне длин волн трех распространенных сегнетоэлектрических кристаллов KTiOPO_4 , KTiOAsO_4 и KNbO_3 . Ведется обсуждение потенциала их применения, в частности показано существование коллинеарного фазового синхронизма процесса даунконверсии излучения волоконных лазеров (длины волн в окрестности 1 мкм и 1,5 мкм) в миллиметровый диапазон. Для некоторых кристаллов представлена теоретическая возможность преобразования внутри миллиметрового диапазона.

Литература

- [1] J. Federici and L. Moeller. J. Appl. Phys. 107, 111101 (2010).
- [2] Huang, Shu-Wei, et al. Optics letters 38.5, 796-798 (2013).
- [3] Wu, Ming-Hsiung, et al. Optica 6.6, 723-730 (2019).
- [4] Jankowski, Marc, et al. Optica 7.1, 40-46 (2020).
- [5] Ma, Fei, et al. JOSA B 35.9, 2096-2101 (2018).
- [6] Sakai, Hikaru, Kodo Kawase, and Kosuke Murate. Optics Letters 45.14, 3905-3908 (2020).
- [7] Ю. В. Шалдин. «О соотношении нелинейных коэффициентов, описывающих генерацию в оптическом и СВЧ диапазоне, оптическое выпрямление и линейный электрооптический эффект». Нелинейная оптика: тр. 2-го Всесоюз. симпозиума по нелинейной оптике. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1968, с. 227-235.