

ГЕНЕРАЦИЯ КОГЕРЕНТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ИНФРАКРАСНОМ
ДИАПАЗОНЕ МЕТОДАМИ НЕЛИНЕЙНОЙ ОПТИКИ

С.А.Ахманов, Г.В.Венкин, Б.В.Зубов, Р.В.Хохлов

Предметом настоящего письма является изложение экспериментальных результатов, свидетельствующих о возможности создания достаточно интенсивных источников когерентного инфракрасного излучения, во всяком случае, в диапазоне 2 - 5 мк путем использования эффекта оптического смешения в нелинейных средах. В наших опытах впервые

было реализовано эффективное синхронное смешение в кристалле LiNbO_3 излучения рубинового лазера, работавшего в режиме модуляции доности ($\lambda_\lambda = 6943 \text{ \AA}$), с излучением первой стоксовой компоненты вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) в циклогексане ($\lambda_c = 8657 \text{ \AA}$) и H -гептане ($\lambda_c = 8677 \text{ \AA}$). При этом на выходе нелинейного кристалла возникали импульсы излучения с длиной волны $\lambda_p = 3,5 \text{ мк}$ ($\nu_p = 2852 \text{ см}^{-1}$) и $\lambda_p = 3,47 \text{ мк}$ ($\nu_p = 2878 \text{ см}^{-1}$) соответственно, и с мощностью не ниже $1 + 10 \text{ Вт}$. Напомним, что смешение с выходным сигналом, лежащим в инфракрасном диапазоне, встречается с существенными трудностями. Важнейшими из них являются: необходимость подбора кристалла, допускающего существование накапливающихся взаимодействий (направлений синхронизма), трудности регистрации коротких импульсов инфракрасного излучения, резко возрастающее (по сравнению со случаем оптического диапазона) требование к пространственной когерентности взаимодействующих пучков (см., напр., [1]).

Для преодоления перечисленных трудностей в качестве нелинейного кристалла нами был выбран кристалл LiNbO_3 [2], прозрачный в диапазоне $0,4 + 5 \text{ мк}$ и обладающий, как показали расчеты, двулучепреломлением, достаточным для реализации накапливающихся взаимодействий в диапазоне его оптической прозрачности [1]. Использование в качестве смешиваемых пучков излучения рубинового лазера и вызванного им стоксова излучения ВКР в органических жидкостях обеспечивало высокую степень их пространственной когерентности и автоматическую временную синхронизацию.

Обратимся прежде всего к условиям реализации накапливающихся нелинейных взаимодействий в кристалле LiNbO_3 . Здесь при смешении возможны накапливающиеся взаимодействия двух типов, для которых условия синхронизма имеют вид:

$$\vec{K}_{po} = \vec{K}_\lambda^e - \vec{K}_{co}, \quad (1)$$

$$\vec{K}_p^e = \vec{K}_\lambda^e - \vec{K}_{co}. \quad (2)$$

Здесь \vec{K}_i - волновые векторы волн, распространяющихся в кристалле; индексы o и e относятся к обыкновенной и необыкновенной волнам.

Амплитуды волн нелинейной поляризации в LiNbO_3 , возбуждающих обыкно-

венную волну на частоте ω_p и необыкновенную волну на частоте ω_p , имеют следующий вид:

$$P_o(\omega_p) = E_\Lambda E_c^* [\chi_{131} \sin \theta + \chi_{222} \cos \theta \cos 3\varphi], \quad (3)$$

$$P_e(\omega_p) = E_\Lambda E_c^* [-\chi_{222} \cos^2 \theta \sin 3\varphi]. \quad (4)$$

Здесь θ - угол между направлением падающего пучка и оптической осью кристалла, φ - угол между плоскостью падения и плоскостью

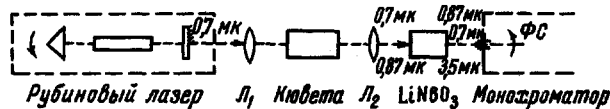


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки. L_1 - линза ($f = 7$ см), L_2 - линза ($f = 10$ см), ФС - фотосопротивление

зеркальной симметрии кристалла, χ_{131} , χ_{222} - спектральные компоненты тензора нелинейной поляризуемости. Согласно данным работы [2], расчетные углы синхронизма имеют следующие значения:

$\theta_c = 46^\circ 04'$ и $45^\circ 30'$ для взаимодействия типа (1) с использованием H_2 - гептана и циклогексана соответственно;

$\theta_c = 51^\circ 37'$ и $50^\circ 51'$ для взаимодействия типа (2).

В эксперименте использовались образцы ниобата лития размером $6,5 \times 6,5 \times 8,0$ мм, вырезанные под углом синхронизма согласно (3) и (4): $\theta = 45^\circ \pm 2^\circ$, $\varphi = 0^\circ \pm 2^\circ$ и $\theta = 51^\circ \pm 2^\circ$, $\varphi = 90^\circ \pm 2^\circ$. Блок-схема экспериментальной установки показана на рис. 1. Излучение рубинового лазера, с модулируемой добротностью фокусировалось линзой L_1 ($f = 7,0$ см) в кювету ($l = 10$ см) и возбуждало ВКР на стоксовой компоненте в циклогексане и H_2 - гептане. С помощью линзы L_2 ($f = 10$ см) излучение из кюветы фокусировалось на кристалл $Li: NbO_3$; плотность мощности в кристалле составляла $S_\Lambda \approx S_c \approx 1,0$ Мвт/см². Излучение, выходящее из кристалла, регистрировалось германиевым фотосопротивлением (ФС) с примесью золота, работающим при температуре жидкого азота, которое было установлено на выходе монохроматора инфракрасного диапазона. Мощность выходного излучения была не ниже $1 + 10$ вт.

На рис. 2 приведена осциллограмма импульса разностной частоты. Особое внимание нами уделялось экспериментальному подтверждению вывода о реализации накапливающегося (синхронного) нелинейного взаимодействия. С этой целью: 1) с помощью германиевой пластинки, устанавливаемой под углом Брюстера, было обнаружено, что поляризация инфракрасного излучения правильно предсказывается формулами (1) и (2); 2) наиболее убедительное доказательство синхронного характера наблю-

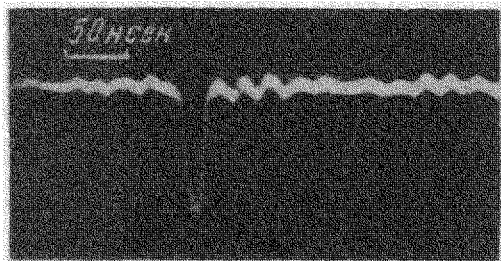


Рис. 2. Осциллограмма импульса разностной частоты

давшегося взаимодействия дают результаты измерений зависимости интенсивности выходного сигнала от ориентации кристалла относительно луча лазера (см. рис.3). Видно, что при отклонении от направления синхронизма на $6'$ величина выходной мощности падает вдвое.

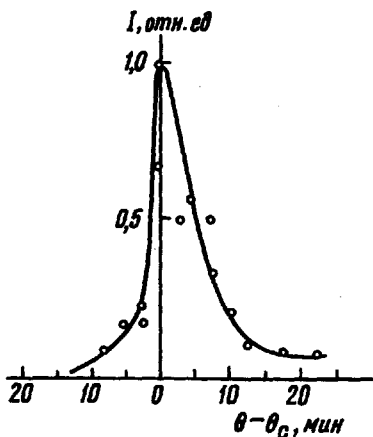


Рис. 3. Зависимость мощности излучения на разностной частоте от ориентации кристалла LiNbO_3 по отношению к лазерному пучку

Теоретические оценки мощности на разностной частоте, которая могла быть получена в данных экспериментах, дают величину ~ 500 вт. Отличие этого значения от экспериментального может быть отнесено за счет полидоменной структуры использованного нами кристалла LiNbO_3 . В этом случае нелинейные параметры χ_{131} и χ_{222} испытывают

случайную пространственную модуляцию, что приводит к уменьшению эффективности нелинейного взаимодействия. Полученные результаты позволяют рассчитывать на перекрытие с помощью описанной системы, во всяком случае, диапазон $2 + 5$ мк при выходной мощности не ниже $5 \cdot 10^2$ Вт. При этом, наряду с использованием линий ВКР, представляется весьма перспективным использование в качестве смешиваемых колебаний спектральных линий, получаемых от перестраиваемого параметрического генератора света (см., напр., обзор [5]). Использование выходного сигнала этого генератора позволило бы, по нашему мнению, эффективно продвинуться и в область $100 + 150 \text{ см}^{-1}$ с помощью схемы, описанной в работе Церника и Бермана [4]. Заметим, наконец, что в нашей схеме введение зеркал, отражающих на частотах ω_c и ω_p , может привести к самовозбуждению колебаний на указанных частотах, если плотность мощности на частоте ω_p достаточно велика.

Мы благодарны А.С.Бибчуку и Ю.И. Соловьевой за предоставление кристаллов, В.И.Пчелкину за помощь в эксперименте, а также А.Г.Ершову и В.В.Фадееву за обсуждение результатов.

Физический факультет
Московского государственного
университета им. М.В.Ломоносова

Поступило в редакцию
3 мая 1966 г.

Литература

- [1] I.Ducuing, N.Bloembergen. Phys. Rev., 133A, 1493, 1964.
- [2] G.Boyd, R.Miller, K.Nassau, W.Bond, A.Savage. Appl. Phys. Lett., 5, 234, 1964.
- [3] M.Martin, E.Thomas, I.Wright. Phys. Lett., 15, 136, 1965.
- [4] F.Zernike, P.Berman. Phys.Rev.Lett., 15, 999, 1965.
- [5] С.А.Ахманов, Р.В. Хохлов. Успехи физ. наук, 88, 439, 1966.

1) Неэффективность кристаллов ZnS и CdS в качестве оптических смесителей явилась, по-видимому, основной причиной отрицательного результата опыта, описанного в [3]. Заметим, что наши данные согласуются с результатами этой работы.