

## Детектирование инфракрасного излучения посредством перевода его в видимый диапазон

В. П. Ключев, Д. И. Маш, В. В. Морозов,  
Д. Н. Никогосян, А. Н. Ораевский

В последнее время появилось значительное количество работ, посвящённых детектированию инфракрасного излучения средствами нелинейной оптики<sup>1-7</sup>. Здесь под детектированием подразумевается преобразование инфракрасного излучения в видимое при оптическом смещении его в нелинейном кристалле с мощным лазерным излучением накачки. Образующаяся суммарная или разностная частота несёт в себе полную информацию о спектре инфракрасного излучения, а зарегистрировать её много проще, чем исходный ИК-спектр.

Как известно, в процессе образования суммарной частоты выполняется следующее частотное соотношение (закон сохранения энергии)

$$\omega_1 + \omega_2 = \omega_3 \quad (1)$$

где

$\omega_1$  - частота детектируемого инфракрасного излучения (сигнал)

$\omega_2$  - частота мощного лазерного излучения (накачка)

$\omega_3$  - суммарная частота

Взаимодействие двух волн в нелинейном кристалле идёт достаточно эффективно только по тем направлениям, по которым выполняется закон сохранения импульсов (так называемые направления синхронизма)

$$\vec{k}_1 + \vec{k}_2 = \vec{k}_3, \quad (2)$$

где  $\vec{k}_1 = \frac{\omega_1 n_1}{c} \vec{s}_1$  - волновой вектор сигнала,

$\vec{k}_2 = \frac{\omega_2 n_2}{c} \vec{s}_2$  - волновой вектор накачки,

$\vec{k}_3 = \frac{\omega_3 n_3}{c} \vec{s}_3$  - суммарный волновой вектор.

Удовлетворить условию (2) можно, подбирая соответствующим образом частоты и поляризацию взаимодействующих волн, направления их распространения в нелинейной среде, а также меняя оптические свойства самой среды. Основные теоретические соотношения приведены в работах<sup>1,8</sup>.

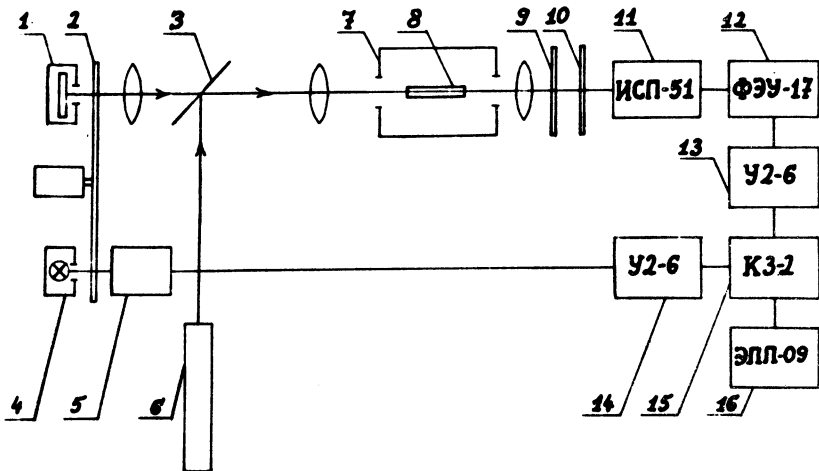
Нами была экспериментально исследована возможность детектирования инфракрасного излучения весьма малой интенсивности. В отличие от других работ, применялся широкополосный источник инфракрасного излучения - глобар. Этим автоматически обеспечивалось выполнение условий синхронизма для какой-нибудь инфракрасной длины волны.

Блок-схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Инфракрасное излучение глобара, проходящее через германиевую пластинку, и зеленое излучение аргонового лазера, отражённое от пластинки, смешивались в нелинейном кристалле  $\text{LiNbO}_3$ . Спектр излучения глобара близок к спектру излучения абсолютно чёрного тела с  $T = 1700^\circ\text{K}$ , максимум излучения приходится на длину волны  $\lambda \approx 2\text{мк}$ . Аргоновый лазер генерировал излучение мощностью порядка 200 мвт на  $\lambda_2 = 4880 \text{ \AA}$ . Одночастотность достигалась соответствующим подбором зеркал.

Попадающие в кристалл волны имели одну и ту же поляризацию, соответствующую поляризации обыкновенной волны в кристалле; излучение на суммарной частоте представляло собой необыкновенную волну. Фазовый синхронизм взаимодействующих волн достигался под углом  $\theta = 90^\circ$  к оптической оси кристалла. Это направление выгодно потому, что при этом устраняется эффект ограничения выходной мощности, связанный с существованием двойной рефракции<sup>9</sup>. Кристалл  $\text{LiNbO}_3$

помещался в термостат, в котором поддерживалась температура  $41,6^{\circ}\text{C}$  с точностью до  $0,1^{\circ}\text{C}$ .

Излучение суммарной частоты выделялось системой фильтров и регистрировалось ФЭУ. Так как в спект-

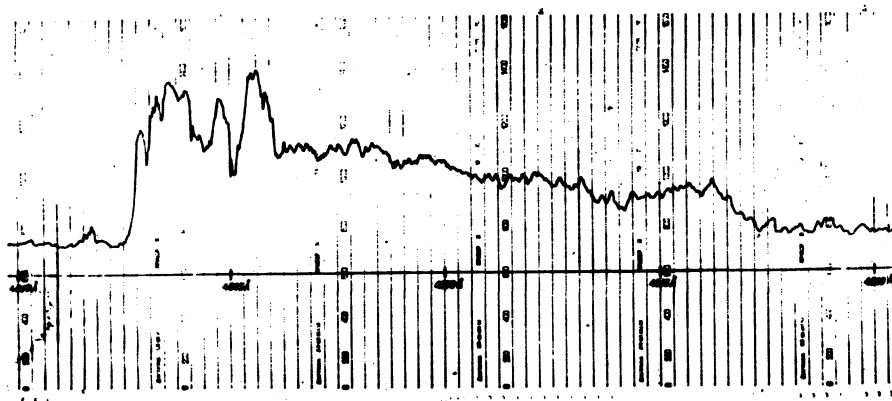


Р и с. 1. Схема установки.

1 - глобар, 2 - модулятор, 3 - германиевая пластинка, 4 - сигнальная лампочка, 5 - фотодиод, 6 - аргоновый лазер, 7 - термостат, 8 - кристалл, 9 - интерференционный фильтр, 10 - поляризатор, 11 - монохроматор, 12 - ФЭУ, 13 - усилитель, 14 - усилитель опорного сигнала, 15 - синхронный детектор, 16 - самописец.

ре аргонового лазера присутствует ряд линий спонтанного излучения, близких по частоте к ожидаемой суммарной, то был принят ряд мер по ослаблению спонтанного излучения. Луч аргонового лазера проходил значительное расстояние ( $\sim 10$  м), прежде чем попадал в кристалл  $\text{LiNbO}_3$ . Вследствие большой расходимости спонтанного излучения этим обеспечивалось существенное его ослабление. Кроме того в эксперименте применялось синхронное детектирование; частота опорного сигнала равнялась 370 гц.

Обнаруженный суммарный эффект появляется в по-  
 лосе длин волн шириною  $7 \text{ \AA}$  с центром на  $\lambda = 4067 \text{ \AA}$   
 (рис. 2), что соответствует детектированию полосы  
 инфракрасного излучения в диапазоне  $2,43 + 2,45$   
 Рассчитанный с использованием данных<sup>10</sup> угол фазово-  
 го синхронизма для этих волн и температуры  $41,6^\circ\text{C}$   
 составляет  $83^\circ$ . Так как показатели преломления



Р и с. 2. Спектр излучения суммарной частоты.

$\text{LiNbO}_3$  меняются весьма плавно в области углов,  
 близких к  $\theta = 90^\circ$ , то можно считать, что использован-  
 ные нами кристаллы вполне соответствуют данным,  
 приведённым в<sup>10</sup>.

Некоторая нестабильность получаемых результа-  
 тов объясняется, по-видимому, изменением по-  
 казателей преломления ниобата лития под дейст-  
 вием мощного лазерного излучения (эффект оптиче-  
 ских искажений - *optical damage*). Как показано в<sup>11</sup>,  
 под действием излучения аргонового лазера показатель  
 преломления необыкновенного луча  $\text{LiNbO}_3$  может умень-  
 шиться на  $10^{-3}$  своей величины, что и приводит в на-  
 шем случае к изменению детектируемой частоты ин-  
 фракрасного излучения. Работа продолжается в направ-

лении устранения эффекта оптических искажений, оптимизации процесса инфракрасного детектирования<sup>12</sup> и перехода к одномодовой накачке. Чувствительность данной схемы оказалась вполне достаточной для создания нелинейного инфракрасного спектрометра. Вопрос о разрешении такого спектрометра пока остаётся открытым, — нам представляется, что разрешение в 1 Å является вполне реальным.

Авторы считают приятным долгом выразить благодарность Н. Г. Басову за стимулирующий интерес к работе и В. А. Морозову за помощь в проведении эксперимента.

Поступила в редакцию

10 марта 1970 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. Midwinter J.E., Warner J. *J.Appl.Phys.* 38, 519 (1967).
2. Miller R.C., Nordland W.A. *IEEE J. Quantum Electronics*, QE - 3, 642 (1967).
3. Warner J. *Appl.Phys.Letts*, 12, 222 (1968).
4. Boyd J.D., Bridges T.J., Burkhardt E.J. *IEEE J. Quantum Electronics*, QE - 4, 515 (1968).
5. Jandrud W.B., Boyd J.D. *Optics Commun.*, 1, 187 (1969).
6. Kleinman D.A., Boyd J.D. *J.Appl.Phys.*, 40, 546 (1969).
7. Воронин Э. С., Дивлекеев М. И., Ильинский Ю. А., Соломатин В. С. *ЖЭТФ* 58, 51 (1970).
8. Kleinman D.A. *Phys. Rev.*, 128, 1761 (1962).
9. Miller R.C., Boyd J.D., Savage A. *Appl.Phys.Letts*, 6, 77 (1965).
10. Hobden M.V., Warner J. *Phys.Letts*, 22, 243 (1966).
11. Chen F.S. *J. Appl. Phys.*, 40, 3389 (1969).
12. Boyd J.D., Kleinman D.A. *J.Appl.Phys.*, 39, 3597 (1968).