

*Письма в ЖЭТФ, том 14, стр. 23-27.*

*5 июля 1971 г.*

**НЕЛИНЕЙНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ  
ИЗ ИК ДИАПАЗОНА В ВИДИМЫЙ КАК НОВЫЙ МЕТОД  
АБСОРБЦИОННОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА**

*Е.Н. Антонов, М.А. Большов, В.Ф. Колошников,  
Д.Н. Никогосян*

В последнее время появилось значительное количество работ, посвященных детектированию инфракрасного излучения путем слож-

ния его частоты с частотой лазерного излучения в нелинейном кристалле [1-4]. Такое преобразование может быть более чувствительным методом обнаружения ИК излучения, чем прямое детектирование стандартными ИК приемниками [5].

Предметом нашего сообщения является первое экспериментальное исследование абсорбционного спектрометра ближнего ИК диапазона, построенного на принципе преобразования ИК излучения в видимый диапазон.

Блок-схема установки приведена на рис.1. Широкополосным источником ИК излучения служит штифт Нернста 11. Это излучение проходит через кювету с поглощающим веществом 22, фокусируется линзой 13 в кристалл  $\text{LiNbO}_3$  16 и смешивается в нем с излучением аргонового лазера 3, работающего на линии 4880 Å. Фокусировка смешиваемых волн в кристалле была оптимальной [6]. 90-градусный кристалл  $\text{LiNbO}_3$ , размером  $5 \times 5,5 \times 9 \text{ мм}^3$  помещался в печьку 17, температура которой могла плавно изменяться в диапазоне 20 – 300°C.

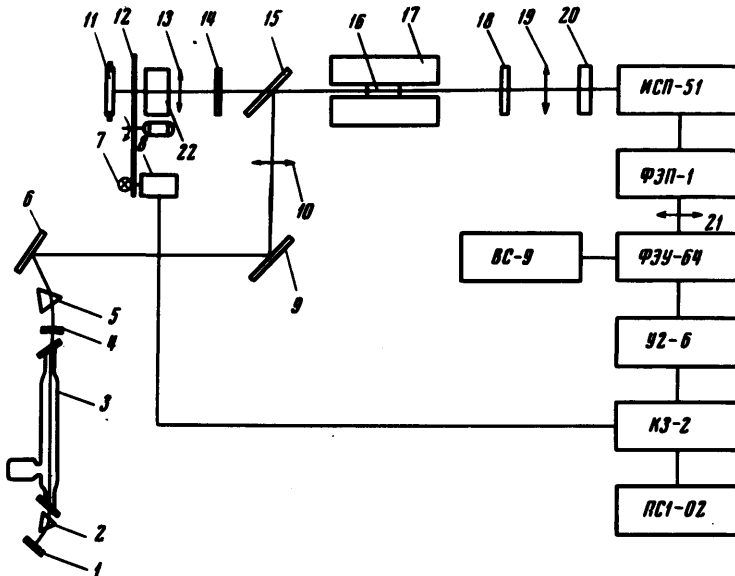


Рис.1. Схема экспериментальной установки: 1. – глухое зеркало  $R 10 \text{ М}$ ; 2, 5 – кварцевые призмы, 3 – лазер, 4. – выходное зеркало  $R 2 \text{ М}$ ,  $r = 4\%$ ; 6, 9, 15 – поворотные диэлектрические зеркала, 7. – лампочка, 8 – фотодиод, 10 – линза  $F 192$ , 11 – штифт Нернста, 12 – модулятор, 13 – линза  $F 112$  кварц, 14. – кремниевая пластинка, 16 – кристалл, 17. – печька, 15 – пластинка кристаллического кварца, 19 – линза  $F 110$ , 20 – фильтр, 21 – линза  $F 25$ ; 22 – кювета

Точность поддержания температуры составляла  $0,02^\circ\text{C}$ . При изменении температуры кристалла от 170 до  $250^\circ\text{C}$  в видимый диапазон переводились последовательно участки ИК спектра от 2,8 до  $3,2 \text{ мк}$ .

В результате синхронного взаимодействия по типу "00- $\epsilon$ " в кристалле возбуждалось излучение на суммарной частоте, которое регистрировалось с помощью спектрографа ИСП-51 с переделанной под ФЭУ-64 фотоприставкой ФЭП-1. Для отделения этого излучения от мощного излучения лазера использовался фильтр 20. Для повышения чувствительности регистрирующей системы применялось синхронное детектирование сигнала, поступающего с ФЭУ-64. Чувствительность системы позволяла надежно регистрировать световые сигналы мощностью  $10^{-15}$  вт.

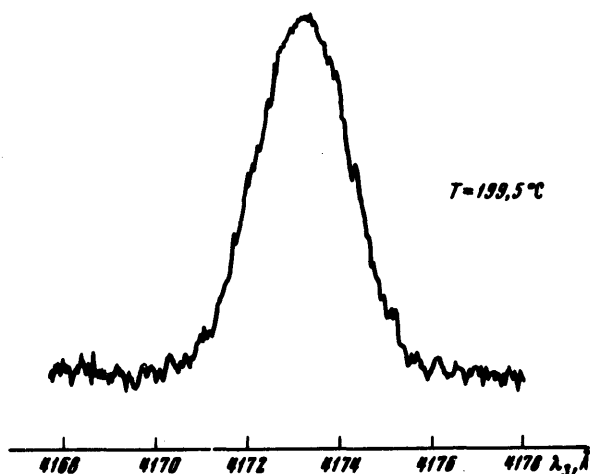


Рис.2. Спектр излучения на суммарной частоте

На рис.2 представлен спектр преобразованного излучения в том случае, когда кювета с поглощающим веществом убрана. Ширина спектра по уровню  $1/2$  составляет  $13,5 \text{ см}^{-1}$ . Спектр преобразованного излучения, записанный в том случае, когда кювета 22 была заполнена газообразным аммиаком, приведен на рис.3. На этом спектре четко виден провал, соответствующий линии поглощения аммиака в районе  $2,89 \text{ мк}$ . При записи этого спектра использовалось предельное разрешение спектрографа ИСП-51 ( $\sim 2,8 \text{ см}^{-1}$ ), а температура кристалла поддерживалась такой, чтобы центр преобразуемой полосы ИК излучения (рис.2) соответствовал центру линии поглощения аммиака.

В описанной схеме ИК спектрометра разрешение определяется разрешением спектрографа ИСП-51 и составляет  $2,8 \text{ см}^{-1}$ . Значительно более перспективным является использование в качестве спектрального прибора видимого диапазона сканирующего эталона Фабри – Перо. При этом, однако, необходимо, чтобы полная ширина преобразуемого участка ИК спектра (аппаратная функция преобразователя) была не больше области дисперсии эталона. Для случая 90-градусно-

го синхронизма при оптимальной фокусировке ширина преобразуемого участка спектра равна [ 1 ]

$$\Delta\nu_1 = \frac{1}{L} \left( n_3^e - n_1^o + \lambda_1 \frac{dn_1^o}{d\lambda_1} - \lambda_3 \frac{dn_3^e}{d\lambda_3} \right)^{-1},$$

где индексы 1, 3 – относятся к волнам ИК диапазона и суммарной соответственно. Для нашего случая эта величина должна составлять  $2,2 \text{ см}^{-1}$ . Отличие экспериментально получаемой ширины ( $13,5 \text{ см}^{-1}$ ) от теоретической определяется главным образом неоднородностью по длине имевшегося у нас кристалла. Наличие в кристалле нескольких областей с различными значениями показателей преломления было проверено по генерации в нем второй гармоники излучения He – Ne-лазера на длине волны  $1,15 \text{ мк}$  [ 7 ].

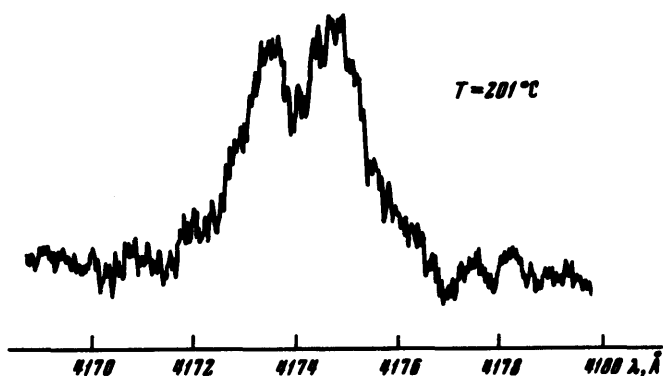


Рис.3. Спектр преобразованного излучения, полученный при заполнении кюветы  $\text{Zn}$  газообразным аммиаком. Провал соответствует линии поглощения  $\text{NH}_3$  в районе  $2,89 \text{ мк}$

Таким образом при использовании кристалла  $\text{LiNbO}_3$  хорошего качества уже в настоящее время реально получить разрешение в ближнем ИК диапазоне  $\sim 0,1 \text{ см}^{-1}$ .

Помимо этого обсужденный метод позволяет фотографически регистрировать отдельные участки спектра ИК излучения. Это может представлять интерес при необходимости регистрации ИК спектров импульсных процессов, когда сканирование невозможно.

Институт спектроскопии  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
28 мая 1971 г.

### Литература

- [1] G.E.Midwinter, G.Warner. J.Appl. Phys., **38**, 519, 1967.  
[2] R.Miller, W.A.Nordland. IEEE J.Quant. Electr., QE-3, 642, 1967.

- [3] G. D. Boyd, T. G. Bridges, E. J. Burkhardt. IEEE J. Quant. Electr., QE-4, 515, 1968.
- [4] В.П.Клюев, Д.И.Маш, В.В.Морозов, Д.Н.Никогосян, А.П.Ораевский. Краткие сообщения по физике (ФИАН), 1, № 5, 38, 1970.
- [5] D. A. Kleinman, G. D. Boyd. J. Appl. Phys., 40, 546, 1969.
- [6] D. A. Boyd, D. A. Kleinman. J. Appl. Phys., 39, 3597, 1968.
- [7] F. R. Nash, G. D. Boyd, M. Sargent, P. M. Bridenbaugh. J. Appl. Phys., 41, 2564, 1970.
-