

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ
СВЕТА В БЛИЖНЕЙ ИК ОБЛАСТИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Л. К. Водошнянов, Л. В. Голубев, Л. Ю. Кенгерлинский,
В. Г. Плотниченко

УДК 535.375.5

Описана конструкция лазерного КР-спектрометра для исследования процессов в ближней ИК области. Данная установка позволяет существенно расширить круг задач, решаемых методом КР-спектроскопии.

Развитие современной электроники стимулирует широкое внедрение новых полупроводниковых материалов с различными физико-химическими свойствами. Чтобы понять сущность физических процессов, происходящих в этих материалах, необходимо детальное знание структурных особенностей и влияния на них примесей и дефектов. Одним из методов, позволяющих получать такую информацию, является комбинационное рассеяние света (КРС) на оптических фононах.

Появление лазеров и использование их в качестве источников возбуждения способствовало быстрому росту количества исследований, выполненных методом КРС [1, 2]. Однако широкое применение в КР-спектроскопии нашли в основном газовые лазеры с генерацией излучения в видимой области спектра. В то же время твердотельные инфракрасные лазеры, обладающие большей выходной мощностью и надежностью в эксплуатации, в спектроскопии КРС используются редко.

В настоящей работе описан лабораторный вариант лазерного КР-спектрометра для изучения процессов КРС на длинноволновых оптических фононах в ближней ИК области спектра. В нем в качестве источника возбуждения КР спектров используется YAG:Nd^{3+}

лазер непрерывного действия с генерацией излучения на длине волны $\lambda = 1064$ нм.

Известно, что эффективность процесса КРС на оптических фоновых $\delta \sim \omega^4 d l$, где ω — частота рассеянного излучения, δ — сечение рассеяния, l — глубина проникновения возбуждающего излучения в образец. Анализ этого соотношения показывает, что за счет множителя ω^4 предпочтительней использовать лазеры с меньшей длиной волны. Однако в случае соединений, непрозрачных в видимой области спектра ($E_g < 1,6$ эВ), лазерное излучение видимого диапазона проникает в них лишь на глубину скин-слоя ($l \approx 10^{-4}$ см), в то время как глубина проникновения излучения YAG лазера определяется геометрическими размерами образца ($l \approx 1$ см). Особо следует отметить, что резонансное увеличение сечения рассеяния δ наблюдается лишь при рассеянии на продольных оптических (ЛО) фонах [2] и, как правило, не влияет на интенсивность полос неполярных КР-активных колебаний.

Поэтому использование в качестве источника возбуждения спектров КРС инфракрасного YAG:Na³⁺ лазера, вместо широко используемых лазеров видимого диапазона, в ряде случаев является более эффективным, позволяет производить точные поляризационные измерения в геометрии "на просвет" и исследовать колебательные спектры и структурные особенности широкого класса непрозрачных соединений.

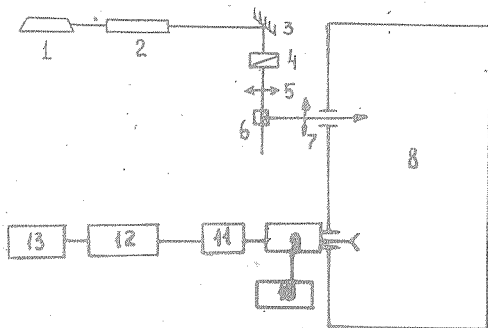
Блок-схема КР-спектрометра представлена на рис. 1.

В качестве активного элемента лабораторного образца YAG лазера использовался кристалл иттрий-алюминиевого граната длиной 80 мм и диаметром 6 мм, содержащий 0,5 ат.% примесных ионов Na³⁺. На торцевые поверхности стержня были нанесены интерференционные просветляющие покрытия. Оптическая накачка активного элемента осуществлялась дуговой криптоновой лампой ДКРТВ-5000.

При использовании резонатора с плоскими зеркалами (коэффициент отражения выходного зеркала $r = 0,93$) максимальная мощность лазера в режиме непрерывной генерации (мода TEM₀₀) составляла 20 Вт с расходимостью луча менее 30°. Ширина линии генерации лазера не превышала 0,4 см⁻¹.

Так как ширина полос в спектрах КРС, соответствующих рассеянию на различных квазичастицах, составляет обычно несколько

см^{-1} , то данный лазер можно использовать в качестве источника возбуждения для изучения процесса КРС на оптических фюнах. Для решения такой задачи методом КР-спектроскопии достаточна выходная мощность лазера, не превышающая 3-5 Вт.



Р и с. 1. Блок-схема КР-спектрометра. 1 - юстировочный гелий-неоновый лазер; 2 - лазер $\text{YAG}:\text{Nd}^{3+}$; 3 - поворотное зеркало; 4 - поляризатор; 5 - фокусирующая линза; 6 - образец; 7 - конденсорная линза; 8 - монохроматор ДФС-12; 9 - ФЭУ-83; 10 - высоковольтный источник питания ВС-22; 11 - предусилитель; 12 - интенсиметр ПИ-4-1; 13 - потенциометр КСП-4

Анализ рассеянного излучения проводился при помощи спектрометра ДФС-12 со стандартными дифракционными решетками 600 штр/мм, работающими в первом порядке дифракции. При этом дисперсия на выходной щели в области длин волн 1064 нм составляет $9,3 \text{ см}^{-1}/\text{мм}$.

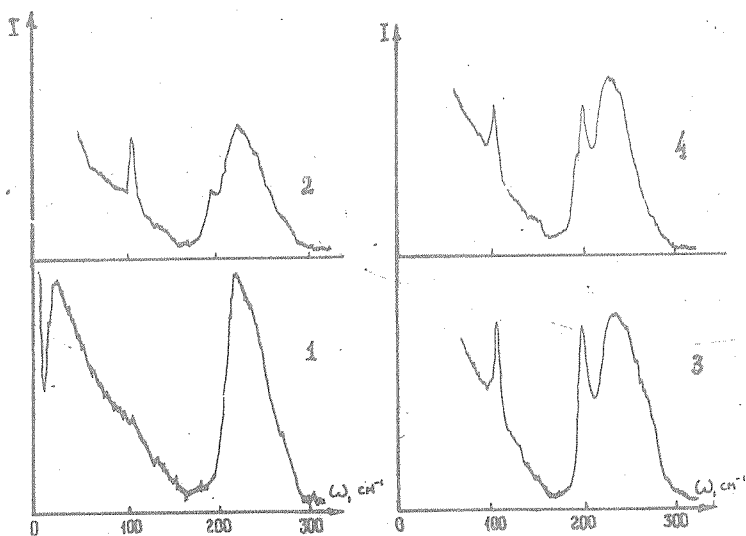
Серьезные трудности представляет регистрация слабых световых сигналов в ближней ИК области спектра. Сравнение различных типов приемников излучения в области длин волн 1,0-1,2 мкм, а именно, PIN-фотодиодов и фотоумножителей ФЭУ-22, ФЭУ-62 и ФЭУ-83 показало, что наилучшей чувствительностью обладают охлаждаемые парами жидкого азота ФЭУ-83. Причем, согласно [3], в счетной характеристике фотоумножителя данного типа при охлаждении до $T \approx 200 \text{ K}$ появляется плато, что свидетельствует о возможности их использования в режиме счета фотонов. Следует отметить однако, что в данном диапазоне длин волн приемник ра-

ботает в области падающей характеристики. Поэтому для получения истинной интенсивности спектра необходимо вносить поправки на изменение чувствительности приемника с изменением длины волны.

Для охлаждения ФЭУ нами использовалось устройство с продувкой паров жидкого азота, которое обеспечивало равномерное охлаждение баллона ФЭУ в интервале температур от 300 до 77 К /4/. В качестве дискриминатора и анализатора импульсов использовались блоки линейного аналогового интенсиметра ПИ-4-1. Запись КР-спектров осуществлялась при помощи электронного потенциометра КСП-4.

Отметим, что результаты, полученные нами в процессе эксплуатации фотоумножителей типа ФЭУ-83, находятся в хорошем согласии с результатами работ /5,6/.

Использование данной установки позволило провести ряд оригинальных экспериментов, которые не удается выполнить на КР-спектрометрах видимого диапазона /7,8/. Широкие возможности



Р и с. 2. Спектры КРС некоторых образцов системы стеклол:

1 - As_2Se_3 ; 2 - $Ge_5As_{35}Se_{60}$; 3 - $Ge_{10}As_{25}Se_{65}$; 4 - $Ge_{10}As_{30}Se_{60}$.

открываются при использовании такого КР-спектрометра для изучения структуры аморфных соединений. Так как их теплопроводность как правило меньше, чем у кристаллов, то использование в качестве источника возбуждения лазеров видимого диапазона приводит к термическому разрушению образцов. Эти трудности удается преодолеть при использовании YAG лазера. В качестве примера на рис. 2 представлены спектры КРС некоторых образцов системы стекол As-Ge-Se. Видно, что в спектрах отчетливо проявляются полосы, соответствующие полносимметричным колебаниям структурных групп $AsSe_3$ и $GeSe_4$ с частотами 229 и 198 см^{-1} соответственно, характерными для соединений данного типа /2/. Вероятно, результаты /9/ дают основание предположить, что метод КРС явится наиболее удобным при исследовании структуры аморфных соединений и определении содержания в них различных примесей.

Поступила в редакцию
24 июня 1981 г.

Л и т е р а т у р а

1. А. Андерсон, Применение спектров комбинационного рассеяния, "Мир", М., 1977 г.
2. М. Кардона, Рассеяние света в твердых телах, "Мир", М., 1979 г.
3. Я. Э. Карисс, А. Р. Кангро, М. А. Элерт, ПТЭ № 1, 160 (1976).
4. Л. К. Водопьянов и др., ПТЭ № 5, 191 (1979).
5. С. С. Ветохин, И. Р. Гулаков, ПТЭ № 1, 196 (1980).
6. С. С. Ветохин, И. Р. Гулаков, Ю. В. Писляк, ПТЭ № 1, 198 (1980).
7. П. Г. Плотниченко, Автореферат канд. дисс., ФИАН, М., 1977 г.
8. Л. В. Голубев, Автореферат канд. дисс., ФИАН, М., 1980 г.
9. R. Shuker, R. Gamon, Phys. Rev. Lett., 25, 222 (1970).