

СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МЯГКАЯ МОДА В ПОЛУПРОВОДНИКОВОМ КРИСТАЛЛЕ TlGaSe_2

*А.А.Волков, Ю.Г.Гончаров, Г.В.Козлов, С.П.Лебедев,
А.М.Прохоров, Р.А.Алиев, К.Р.Аллахвердиев*

В кристалле TlGaSe_2 в результате исследования дисперсии диэлектрической проницаемости обнаружены неизвестные ранее температурно-неустойчивые возбуждения решетки, указывающие на существование в TlGaSe_2 структурных фазовых переходов – при 107 К и, возможно, в районе 120 К.

При изучении ИК и КР спектров TlGaSe_2 неоднократно обращалось внимание на необычное поведение интенсивностей линий решеточных возбуждений в интервале температур 85 – 150 К¹⁻³. Высказывалось предположение, что наблюдаемые особенности спектров обусловлены фазовыми переходами в кристалле, происходящими, возможно, с участием его поверхности. Однако прямых подтверждений гипотезы в ИК и КР спектрах зарегистрировано не было.

В настоящей работе TlGaSe_2 исследовался на частотах 4 – 23 см⁻¹, более низких, чем в¹⁻³, методом субмиллиметровой диэлектрической спектроскопии⁴. С помощью ЛОВ-спектрометра „Эпсилон-2”⁵ в широком интервале температур – от комнатной до 78 К – записывались частотные зависимости действительной ϵ' и мнимой ϵ'' частей диэлектрической проницаемости плоскопараллельных образцов TlGaSe_2 в ориентации поля E параллельно плоскости спаянности (анизотропия диэлектрических свойств кристалла в этой плоскости нами не наблюдалась).

Результаты измерений приведены на рис. 1. Некоторые зависимости $\epsilon'(\nu)$ и $\epsilon''(\nu)$, хорошо отличимые на графиках, представлены для примера в виде реальных спектров, снятых на спектрометре. Последовательность нумерации кривых 1 – 11 соответствует процессу монотонного охлаждения кристалла.

Наиболее важным из того, что демонстрируют спектры, является следующее.

1. На частотах $\nu \lesssim 20$ см⁻¹ в TlGaSe_2 существует интенсивное полярное колебание решетки резонансного типа со всеми признаками мягкой моды: при понижении температуры частота его (~ 14 см⁻¹ при комнатной температуре) падает, а диэлектрический вклад растет (кривые 1 – 4).

2. Область температур вблизи 120 К для TlGaSe_2 является, как это и отмечалось в работах^{2,3} выделенной: начиная с этих температур в процессе охлаждения кристалла характер его диэлектрической дисперсии начинает изменяться с резонансного на релаксационный. Это хорошо видно из спектров $\epsilon'(\nu)$ на частотах $\sim 7 - 10$ см⁻¹, где изменяется знак и ϵ' , и ее производной по частоте (кривые 4 – 7).

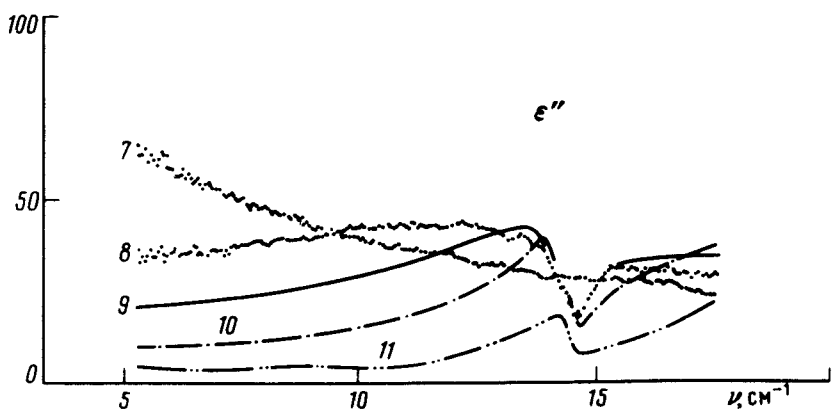
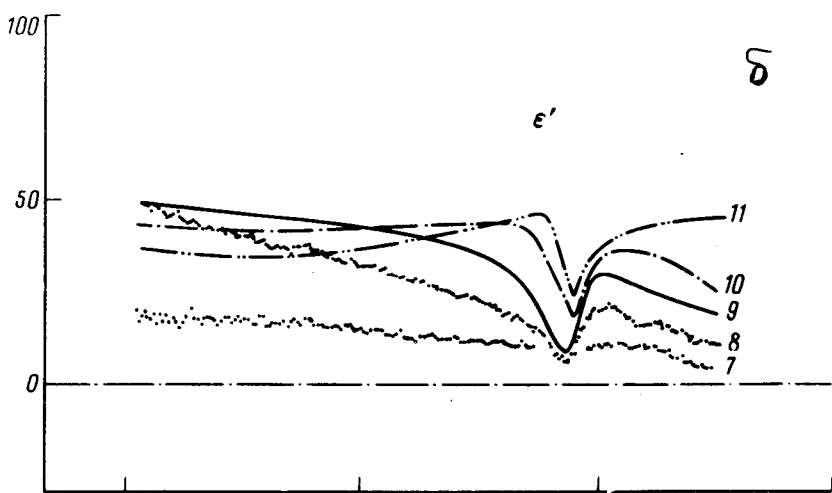
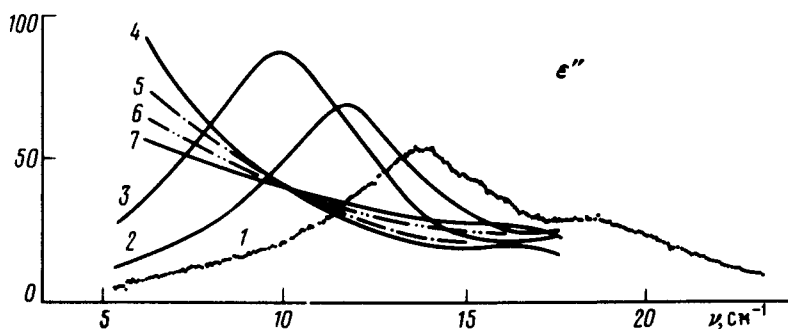
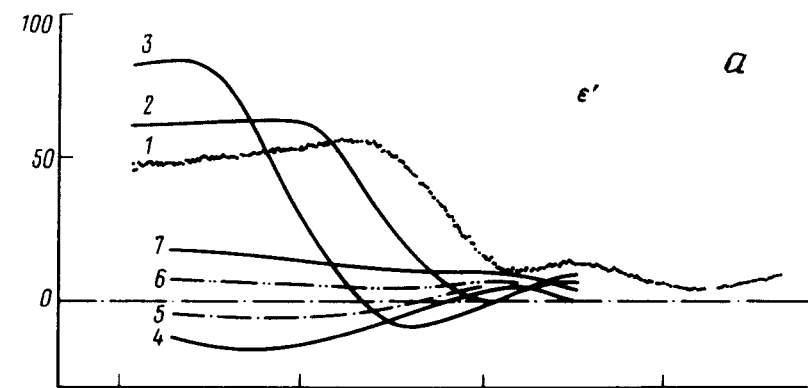


Рис. 1. Субмиллиметровые диэлектрические спектры TiGaSe_2 , относящиеся к температурам 298, 244, 201, 123, 118, 113, 108, 106, 100, 94, 78К (соответственно кривые 1 – 11)

3. В точке 107К динамические свойства TlGaSe_2 скачком изменяются (рис. 1, б, кривые 7 и 8). В спектрах возникает новая добротная линия поглощения на частоте $\sim 14 \text{ см}^{-1}$, а мягкая мода очень быстро смещается по частоте из СВЧ диапазона на $\nu \sim 15 - 20 \text{ см}^{-1}$ и спадает по интенсивности. В процессе движения через $\nu \sim 14 \text{ см}^{-1}$ она интерферирует с появившимся здесь жестким решеточным колебанием (эффект Фано ⁶).

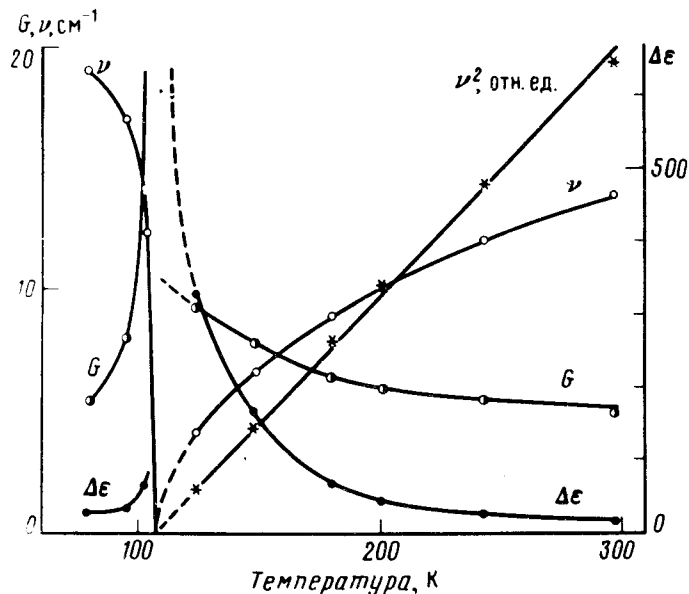


Рис. 2. Параметры мягкой моды. ν , G и $\Delta\epsilon$ — соответственно частота, затухание и диэлектрический вклад

На рис. 2 представлены температурные зависимости параметров мягкой моды, рассчитанные на основании спектров $\epsilon'(\nu, T)$ и $\epsilon''(\nu, T)$ методом наименьших квадратов по модели осциллятора с затуханием. Из графиков ясно, что речь идет о типичной сегнетоэлектрической мягкой моде. Она имеет линейную зависимость квадрата частоты от температуры, близкую к закону Кюри — Вейса температурную зависимость диэлектрического вклада $\Delta\epsilon(T)$ с константой $C = 5,5 \times 10^3 \text{ K}$, сравнительно слабо зависящее от температуры затухание. Точка обращения в ноль частоты моды, получаемая из экстраполяции зависимости $\nu^2(T)$ приходится на температуру $107 \pm 2 \text{ (K)}$, и, таким образом, совпадает с температурой резкой перестройки спектров. Все это говорит о том, что в точке 107К в TlGaSe_2 происходит сегнетоэлектрический фазовый переход типа смещения.

При записи зависимостей $\epsilon'(T)$ и $\epsilon''(T)$ в точке 107К нами наблюдался температурный гистерезис $\Delta T \sim 0,5\text{K}$, указывающий на первородность перехода. Это же следует из анализа поведения мягкой моды ниже 107К: частота ее вблизи 107К изменяется практически скачком.

Есть и еще один важный момент, касающийся фазового перехода при 107К. Судя по изменению характера диэлектрической дисперсии с резонансного на релаксационный при температурах $\sim 120 - 107\text{K}$, в точке 107К имеет место, по-видимому, не просто структурный фазовый переход из пара — в сегнетоэлектрическую фазу. Появление в кристаллах с фазовыми переходами типа смещения релаксационных возбуждений типично для сегнетоэлектрических кристаллов с несоизмерными фазами. Это уже неоднократно наблюдалось нами в диэлектрических спектрах ряда сегнетоэлектриков (например, в тиомочевине $\text{SC}(\text{NH}_2)_2$ ⁷). По аналогии можно предположить, что в случае TlGaSe_2 переходу в сегнетофазу при 107К предшествует фазовый переход ($T \sim 120\text{K}$) в состояние с пространственной модуляцией структуры, и мы наблюдаем, начиная со 120К, расщепление мягкой моды на две компоненты, одна из которых — релаксационная.

Появление низкочастотной релаксации, впрочем, можно пытаться интерпретировать и как эффект центрального пика⁸. Окончательное решение вопроса в значительной степени зависит, на наш взгляд, от результатов диэлектрических измерений в СВЧ диапазоне и статике.

Авторы признательны Е.Б.Крюковой за помощь в обработке данных, Ю.Н.Поливанову, Р.М.Сардарлы и В.М.Бурлакову за интерес к работе и полезные обсуждения.

Литература

1. *Абдуллаев Г.Б., Аллахвердиев К.Р., Виноградов Е.А., Жижин Г.Н., Мельник Н.Н., Нани Р.Х., Салаев Э.Ю., Сардарлы Р.М.* ДАН АзССР, 1977, 33, 26.
2. *Абдуллаев Г.Б., Аллахвердиев К.Р., Бурлаков В.М., Виноградов Е.А., Жижин Г.Н., Мельник Н.Н., Салаев Э.Ю., Сардарлы Р.М.* ДАН АзССР, 1979, 35, 30.
3. *Агладзе Н.И., Антонюк Б.П., Бурлаков В.М., Виноградов Е.А., Жижин Г.Н.* ФТТ, 1981, 23, 3289.
4. *Козлов Г.В., Волков А.А., Лебедев С.П.* УФН, 1981, 135, 515.
5. *Волков А.А., Козлов Г.В., Лебедев С.П., Мальцев В.И.* Препринт ФИАН, 1981, №80.
6. *Fano U.* Phys. Rev., 1961, 124, 1866.
7. *Volkov A.A., Ishibashi Y., Kozlov G.V., Lebedev S.P., Petzelt J., Prokhorov A.M.* J. Phys. Soc. Jap., 1980, 49, Suppl. B, 78.
8. *Гинзбург В.Л., Леванюк А.П., Собянин А.А.* УФН, 1980, 130, 615.

Физический институт им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
17 марта 1983 г.