

случае поглощения. Это объясняется тем, что для исключения влияния реадсорбции при исследовании спектров люминесценции применяются более тонкие кюветы с оптической плотностью раствора, не превышающей 0,02. Поэтому для одинаковых концентраций красителей отношение S/V кювет, используемых для измерения спектров люминесценции, как правило, на порядок выше, чем для спектров поглощения, что и обуславливает более сильное влияние адсорбции при люминесцентных измерениях.

Таким образом, деформации спектров поглощения и люминесценции растворов красителей, наблюдаемые при содержании ПАВ меньше ККМ и заключающиеся в изменении (иногда значительном — до 50%, см. рис. 1) интенсивности спектров без искажения их формы, объясняются изменениями условий адсорбции красителей в растворе под воздействием ПАВ. Так, например, присутствие тригона X-100 уменьшает адсорбцию Р6Ж, вытесняя его из поверхностного слоя в раствор, а ДСН увеличивает адсорбцию Р6Ж, связывая его молекулы в поверхностном слое. Поэтому в связи с большими погрешностями, вносимыми адсорбцией в результате спектральных измерений жидких растворов, необходимо учитывать влияние адсорбции, особенно в присутствии примесей, приводящих к существенному изменению ее величины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Копылова Т. Н., Данилова В. И., Жигалова Е. Б., Привалова Н. Ю. // Изв. вузов. Физика. 1980. 23, № 10. С. 112—114. [2] Абрамсон А. А. Поверхностно-активные вещества. Л., 1981. [3] Савостьянова М. В. // Успехи химии. 1963. 32, № 10. С. 1233—1269. [4] Аристов А. В. и др. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1978. 42, № 2. С. 425—429. [5] Vuas S., Karoor R. C. // Polymer Photochem. 1984. 4. P. 473—481. [6] Морозова Ю. Н., Жигалова Е. Б. // Журн. физ. химии. 1982. 56, № 10. С. 2491—2494. [7] Баранова Н. Б., Левшин Л. В., Рева М. Г., Рыжиков Б. Д. // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 3, Физ. Астрон. 1982. 23, № 5. С. 8—12. [8] Горбунова Л. Ю., Рыжиков Б. Д., Сенаторова Н. Р. // Там же, 1985. 26, № 1. С. 8—11. [9] Рыжиков Б. Д., Сенаторова Н. Р., Горбунова Л. Ю. // Журн. прикл. спектр. 1985. 43, № 2. С. 230—234.

Поступила в редакцию
06.03.86
После переработки
17.09.86

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1987. Т. 28, № 1

АКУСТИКА

УДК 534.28:548.54

АКУСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛА Bi_2WO_6

А. И. Кондратов, С. В. Павлов, О. Ю. Сердобольская

(кафедра акустики)

Новый кристалл Bi_2WO_6 , физические и оптические характеристики которого исследованы в работах [1—4], является хорошим пьезоэлектриком и может представлять интерес для акустоэлектроники. В настоящей работе изучены упругие свойства этого кристалла.

Сложность измерения скоростей звуковых волн связана с тем, что кристалл Bi_2WO_6 растет в виде тонких пластинок толщиной до 1 мм вдоль оси [010]. Поэтому вдоль оси [010] фазовые скорости объемных акустических волн (ОАВ) измерялись импульсным методом с фиксированной фазой [5] на частоте 12 МГц и импедансным методом на брэггование [6] на частоте 120 МГц. Оба метода дают близкие значения скоростей: $v_{\text{пр}} = v_{22} = (1,8 \pm 0,4) \cdot 10^3$ м/с, $v_{\text{од}} = v_{23} = (0,7 \pm 0,15) \cdot 10^3$ м/с (импульсный метод), $v_{\text{пр}} = v_{22} = (1,4 \pm 0,1) \cdot 10^3$ м/с (импедансный метод). Скорость сдвиговых волн в направлении [010], величины пьезомодуля d_{24} и коэффициента электромеханической связи измерялись, кроме того, методом резонанса и антирезонанса на частотах 0,2—1,5 МГц. Были получены следующие значения: $v_{\text{од}} = v_{23} = (0,85 \pm 0,03) \cdot 10^3$ м/с, $d_{24} = 70 \cdot 10^{-8}$ ед. СГСЕ, $k^2 = 0,008$. Точность измерений d_{24} и k^2 составляла 10—15%. Значение пьезомодуля d_{24} по порядку величины совпадает со значениями d_{33} , d_{32} и d_{31} , измеренными в Bi_2WO_6 ранее методом динамической компенсации [1].

Средние значения модулей упругости можно принять равными: $c_{22} = 3,04 \cdot 10^{10}$ Н/м, $c_{66} = 4,59 \cdot 10^9$ Н/м. Следует отметить малую величину модулей упругости в направле-

нии [010]. Возможно, это объясняется тем, что кристалл имеет слоистую структуру. Малые значения упругих модулей характерны для слоистых материалов типа слюды и графита.

Для измерения скорости ОАВ вдоль пластинки (в направлении [001]) образец вклеивался между двумя пластмассовыми буферами с большим затуханием акустических волн. Торцы системы полировались. Принимаемый сигнал (ОАВ) обусловлен распространением звука в кристалле, так как буфер непроницаем для ОАВ. На частоте 14 МГц были получены значения скоростей: $v_{пр} = v_{з3} = (3,8 \pm 0,15) \cdot 10^3$ м/с, $v_{сд} = v_{з1} = (2,3 \pm 0,4) \cdot 10^3$ м/с. Исследуемые волны не являются чисто продольными и чисто сдвиговыми, так как толщина пластинки Bi_2WO_6 сравнима с длиной звуковой волны. По величине скорости $v_{пр}$ можно считать продольной симметричной модой волны Лэмба, а $v_{сд}$ — сдвиговой модой волны Лэмба.

Возбуждение поверхностных волн (ПАВ) производилось с помощью системы, состоящей из напыленных на кристалл слоев меди, разделенных двумя промежутками. Поле высокой частоты сосредоточено в зазоре между электродами, вся система аналогична встречно-штыревому преобразователю (ВШП) с одной парой штырей. Оказалось, что такая система достаточно эффективно возбуждает поверхностную волну. Пластика Bi_2WO_6 имела размеры $10 \times 0,3 \times 10$ мм вдоль основных осей. Скорость ПАВ в направлении [001] получилась равной $v = 3,5 \cdot 10^3$ м/с (частота 9 МГц), что близко к скорости симметричной моды, возбуждаемой в направлении [001].

Используя теорию распространения волн Лэмба [7], можно оценить возможные моды, распространяющиеся в пластинке Bi_2WO_6 . Основным параметром, по которому определяется возможность существования волн Лэмба, является величина kh . Для пластинки Bi_2WO_6 , использованной в эксперименте, $kh = (\omega h)/v = 2,2$. Из анализа дисперсионных кривых можно сделать вывод, что в пластинке Bi_2WO_6 толщиной 0,3 мм распространяется в основном симметричная мода волны Лэмба. Существует также и антисимметричная, но ее скорость много меньше скорости симметричной, и сигнал чрезвычайно трудно выделить на фоне волн, отраженных от края пластинки.

Напыляя систему электродов под различными углами к оси [001], мы получили зависимости, характеризующие анизотропию скорости волн Лэмба (рис. 1) и потерь

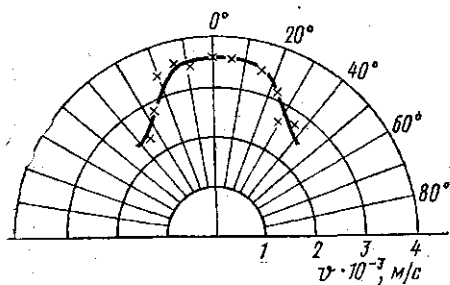


Рис. 1. Анизотропия скорости волн Лэмба (плоскость (010))

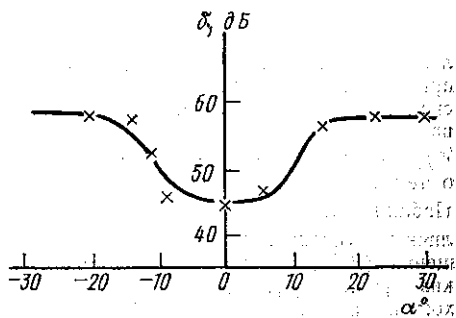


Рис. 2. Анизотропия потерь на преобразование ПАВ в плоскости (010)

на преобразование (рис. 2) при использовании ВШП с одной парой штырей. Отметим, что волна рэлеевского типа возбуждается только в направлении [001], в направлении [100] может возбуждаться только сдвиговая волна с поляризацией [001]. Для промежуточных направлений волны имеют смешанный характер. На более высоких частотах в плоскости (010) возможно возбуждение чисто рэлеевских волн системой ВШП вдоль оси [001] и волны Гуляева—Блюстейна в направлении оси [100].

Была также исследована возможность применения кристалла Bi_2WO_6 для генерации ОАВ. Так как кристалл растет тонкими слоями, то в качестве преобразователя ОАВ можно использовать только [010]-срез кристалла, который за счет пьезомодуля d_{24} может возбуждать сдвиговую волну u_{23} . Потери на двойное преобразование на пятой гармонике составили 58 дБ.

Таким образом, исследование акустических свойств кристалла Bi_2WO_6 показало, что его можно использовать для устройств акустоэлектроники. К его основным достоинствам можно отнести хорошие механические свойства, оптическую прозрачность, достаточно малые потери на преобразование, сравнительно малые значения скорости звука, высокий коэффициент электромеханической связи. Особо необходимо упомянуть, что поверхность (010) не требует механической обработки, благодаря чему не

имеет разрушенного поверхностного слоя и может использоваться для работы в диапазоне частот 10—100 МГц. Перечисленные свойства кристалла позволяют рекомендовать его для изготовления акустических линий задержки на поверхностных волнах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Яновский В. К., Воронкова В. И., Александровский А. Л., Дьяков В. А. // ДАН СССР. 1975. 222, № 1. С. 94—96. [2] Яновский В. К., Воронкова В. И., Милютин В. А. // Кристаллография. 1983. 28, № 2. С. 316—318. [3] Яновский В. К., Воронкова В. И., Рогинская Ю. Е., Веневцев Ю. Н. // ФТТ. 1982. 24, № 9. С. 2829—2831. [4] Воронкова В. И., Яновский В. К. // Кристаллография. 1977. 22, № 2. С. 429—431. [5] Труэлл Р. и др. Ультразвуковые методы в физике твердого тела. М., 1972. С. 63. [6] Моор Р., Мак-Скимин Г. // Физическая акустика. М., 1973. Т. 6. С. 203. [7] Поверхностные акустические волны // Ред. А. Олинер. М., 1981.

Поступила в редакцию
14.05.86

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1987. Т. 28, № 1

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

УДК 621.315.592

ЭЛЕКТРОМОДУЛЯЦИОННЫЕ СПЕКТРЫ ВЫСОКООМНОГО GaAs(O)

В. А. Морозова, В. В. Остробородова

(кафедра физики полупроводников)

Несмотря на значительное количество работ, посвященных исследованию GaAs, легированного кислородом, до сих пор нет полной ясности относительно спектра примесных состояний наиболее глубоких донорных (Д) уровней О, определяющих свойства высокоомного материала. С атомарным O_{As} (О на месте As) обычно связывают Д-уровень, отстоящий от зоны проводимости (ϵ) на величину энергии ионизации $\mathcal{E}_{Дс} \approx 0,63—0,8$ эВ [1—5], теория предсказывает для него $\mathcal{E}_{Дс} = 0,78$ эВ [6]. Вопрос о температурных изменениях $\mathcal{E}_{Дс}$ рассматривался [3, 4], но окончательно не решен. Наблюдаемый разброс в значениях $\mathcal{E}_{Дс}$ связан, по-видимому, с возможностями различных методов, которыми пользовались авторы. Метод примесного электропоглощения (ЭП), казалось бы, позволяет надежно определять энергии ионизации глубоких уровней [7], однако работы по исследованию ЭП GaAs(O) не увенчались успехом из-за пренебрежения [8] и неправильного учета эффекта Поккельса [9]. Цель настоящей работы — с помощью метода примесного ЭП определить энергию ионизации глубокого Д-уровня О в GaAs и ее изменение с температурой.

В нашем распоряжении имелись образцы GaAs, легированного кислородом, с темновыми удельными сопротивлениями $\rho \approx 10^4—2 \cdot 10^9$ Ом·см при 300 К. Исследование эффектов Холла и фотохолла, оптического поглощения и фотопроводимости показало, что у предельно высокоомных (ПВ) образцов с $\rho \approx 2 \cdot 10^9$ Ом·см Д-уровень кислорода существенно заполнен дырками ($N(O^0)/N(O^+) \approx 0,3$). Это обстоятельство позволяет рассматривать в ПВ образцах фотоионизацию дырок с O^+ -центров в валентную (ν) зону (фотопроводимость здесь p -типа). Мы не встречали в литературе сведений об исследовании подобного предельно высокоомного материала; обычно сообщается об исследовании высокоомного GaAs(O), с $\rho \approx 10^6—10^8$ Ом·см [1] и отмечается аномальное поведение его фотоэлектрических характеристик (наши образцы с $\rho \approx 10^6—10^8$ Ом·см вели себя аналогично [1]). У образцов с $\rho < 10^6$ Ом·см фотопроводимость всегда была n -типа, а ее красная граница сдвигалась с температурой по закону изменения ширины запрещенной зоны — $\mathcal{E}_g(T)$, т. е. в данных образцах можно рассматривать фотоионизацию электронов с атомов O^0 в ϵ -зону [10].

Образцы формы параллелепипеда с размерами $\sim (1—2) \times (2—3) \times (6—8)$ мм помещались в переменное электрическое поле конденсатора E (частота 200—700 Гц) и изолировались от его пластин диэлектрическими прокладками. Монохроматический свет ИКС-21, проходя через образец, падал на PbS-фотоприемник; для измерений использовалась обычная методика фазового детектирования. Измерения электромультипликативных (ЭМ) спектров проведены в области 80—300 К, $h\nu \sim 0,5—1,5$ эВ, $E \lesssim 3 \cdot 10^4$ В/см.