

ЗАТУХАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЛАЗМОН-ФОНОННЫХ ПОЛЯРИТОНОВ ОКИСИ ЦИНКА

© А.В.Мельничук, Ю.А.Пасечник

Украинский государственный педагогический университет,
252030 Киев, Украина
(Поступила в Редакцию 4 января 1996 г.)

Исследовано затухание плазмон-фононных поляритонов в ZnO.

Процессы затухания поверхностных плазмон-фононных поляритонов (ППФП) исследованы в работах [1,2]. Авторы [1] теоретически изучили влияние затухания фононов и плазмонов на элементарные свойства поверхностных поляритонов (ПП) смешанного плазмон-фононного типа. Значения коэффициентов затухания ППФП Γ_{sp} вычислены на основе теории возмущений и приближения комплексной частоты. Расчеты на примере InP показали наличие минимума в зависимости Γ_{sp} от частоты ν в приближении, когда коэффициенты затухания фононов γ_{ph} и плазмонов γ_p значительно меньше частоты фононов ν_{ph} и плазмонов ν_p . Однако многие полупроводниковые соединения имеют затухание γ_p , сравнимое с ν_p , что затрудняет использование данных расчета.

Авторы [3] предложили метод определения параметров ангармонизма и оптических постоянных кристаллов по спектрам модифицированного нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) ПП. В области малых волновых векторов, характеризующейся сильной дисперсией, ширина полосы Γ_s в спектре ПП больше, чем значение Γ_{sp} , и однозначно зависит от Γ_{sp} . Используя данную зависимость, можно определять Γ_{sp} .

В данной работе мы применили указанный метод для определения коэффициентов затухания ППФП различного типа на примере окиси цинка. В [4] исследовано влияние анизотропии на дисперсионные зависимости монокристаллов ZnO. Для измерения спектров НПВО ППФП мы использовали спектрометр ИКС-29М и приставку НПВО-2. Точность установки углов в приставке НПВО-2 с элементом из KRS-5 соответствует 0.1° . Спектральная ширина щели составляет 3 cm^{-1} при записи спектров с поляризатором, коэффициент поляризации которого равен 0.98. С учетом указанных данных абсолютная погрешность значения приведенного волнового вектора ПП $Kc/\omega_{t\parallel}$ при 25° равна 0.04 , что соответствует точности определения частоты поляритонов $5\text{--}7 \text{ cm}^{-1}$, (K — волновой вектор ПП в направлении оси x , $\omega_{t\parallel}$ — циклическая частота поперечного оптического фонона).

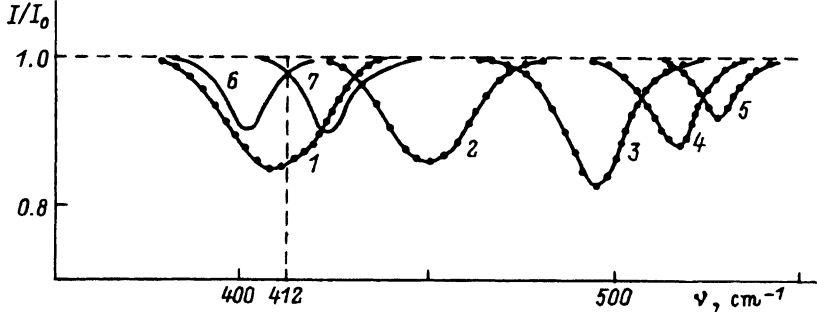


Рис. 1. Спектры НПВО ZnO.

Образец ZO2-3, К || С, xy || С. d (μm): 1, 2 — ≥ 26 , 3-5 — ≈ 3 , 6 — 72, 7 — 49. α ($^\circ$): 1 — 25.3, 2 — 28, 3 — 34, 4 — 42, 5 — 52, 6 — 25.2, 7 — 25.7. Γ_s (cm^{-1}): 1 — 32, 2 — 27, 3 — 22, 4 — 17, 5 — 15, 6, 7 — 12. ν (cm^{-1}): 6 — 401, 7 — 423. $\gamma_{\text{ph}} = 11 \text{ cm}^{-1}$ (6, 7). 1-5 — эксперимент, 6, 7 — расчет.

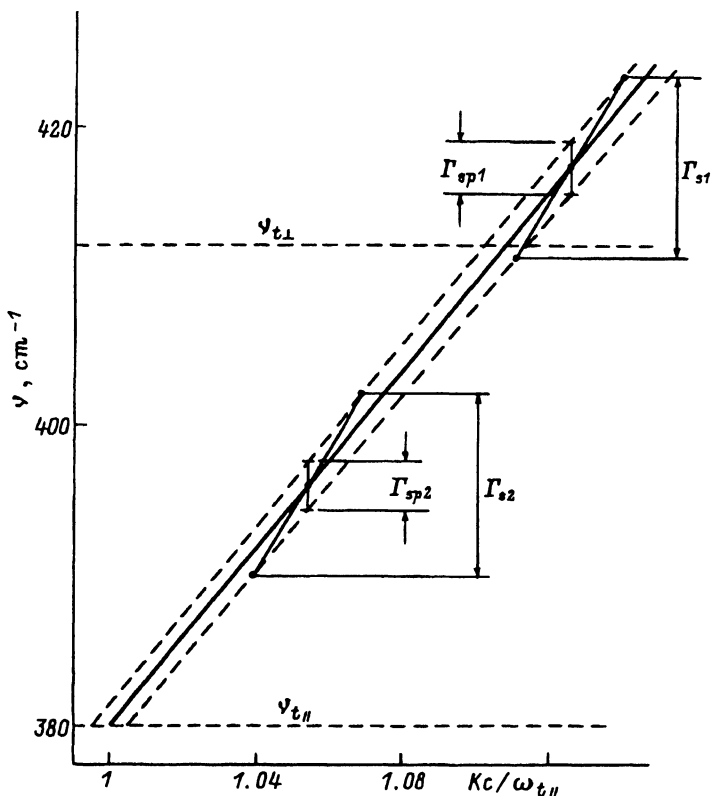


Рис. 2. Дисперсионная зависимость ν_s (К) ПП-2 нелегированного ZnO.

$n_0 = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $\nu_{\text{p||}} = \gamma_{\text{p||}} = 1 \text{ cm}^{-1}$, $\gamma_{\text{ph}} = 11 \text{ cm}^{-1}$.

На рис. 1 представлены экспериментальные спектры ПП НПВО для образца ZO2-3 [4] при ориентации К || С, xy || С (С — оптическая ось монокристалла ZnO, xy — его поверхность). Спектры записаны при воздушном зазоре между элементом НПВО и образцом толщиной $d = 26$ (кривые 1, 2) и $3 \mu\text{m}$ (кривые 3-5) при углах падения ИК-излу-

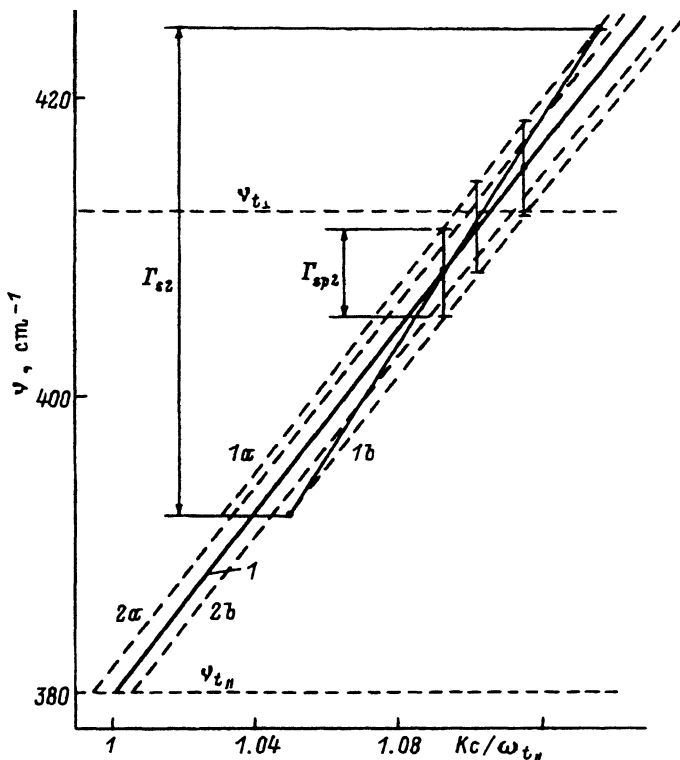


Рис. 3. Дисперсионная зависимость $\nu_s(K)$ ПП-2 сильно легированного ZnO.

Образец Z01, $n_0 = 6.6 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$. 1, 2a, 2b — расчет, точки — эксперимент, 1a, 1b — области определения «истинной» ширины спектра.

чения в элементе НПВО α , указанных в подписях к этому рисунку. Минимумы спектров соответствуют частотам $\nu_{\min} = 408, 450, 496, 518$ и 527 cm^{-1} , при этом ширина спектров $\Gamma_s = 32, 27, 22, 17$ и 15 cm^{-1} .

На рис. 2 показана расчетная дисперсионная зависимость $\nu_s(K)$, полученная на основе обработки спектров НПВО ПП в области существования ПП-2 и ПП-1 в частотном диапазоне $380\text{--}420 \text{ cm}^{-1}$ [4]. Используются параметры $\nu_{p\parallel} = \gamma_{p\parallel} = 1 \text{ cm}^{-1}$, что соответствует концентрации электронов $n_0 = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ при $\gamma_{ph} = 11 \text{ cm}^{-1}$. Точками показаны минимумы спектров НПВО ПП, обработанных согласно методике построения дисперсионных зависимостей [3]. Значения $\Gamma_{s1,2}$ соответствуют ширине спектров ПП первого и второго рода, а $\Gamma_{sp1,2}$ — «истинная» ширина спектров, равная коэффициенту затухания ПП. Дисперсионная зависимость $\nu_s(K)$ сильно легированного образца Z01 ($n_0 = 6.6 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) в диапазоне $380\text{--}420 \text{ cm}^{-1}$ показана на рис. 3. В слабо легированном образце Z02-3 в диапазоне от 406 до 520 cm^{-1} Γ_{sp} изменяется от 3.8 до 13.6 cm^{-1} , а для Z01 Γ_{sp} изменяется от 4.2 до 15 cm^{-1} при $\gamma_{p\parallel} = 13 \text{ cm}^{-1}$. Частота 412 cm^{-1} является границей между дисперсионными зависимостями ZnO ПП-2 и ПП-1.

Отметим, что «истинная» ширина спектров НПВО ПП второго рода обсуждается впервые, хотя исследования ПП-2 были проведены ра-

(см., например, [5]). До настоящей работы работы основное внимание уделялось лишь дисперсионным зависимостям ПП-2. Обращаем особое внимание на проявление ПП-1 и ПП-2 в области «точки остановки» на частоте 412 см^{-1} . Для ZnO мы рассчитали спектры НПВО ПП-1 и ПП-2 в точках, соответствующих частотам $\nu_{\text{sp}2} = 411 \text{ см}^{-1}$ и $\nu_{\text{sp}1} = 413 \text{ см}^{-1}$, при величине зазора $d = 60 \text{ мкм}$ и $\gamma_{\text{ph}} = 11 \text{ см}^{-1}$. Расчет проведен для ориентации $\text{K} \parallel \text{C}$, $xy \parallel \text{C}$ (рис. 1). Значения $K_{\text{sp}2} = Kc/\omega_{t\parallel} = 1.1041$ и $K_{\text{sp}1} = Kc/\omega_{t\parallel} = 1.1105$, что соответствует непосредственной близости спектров ПП к «точке остановки». Оба спектра имеют одинаковые интенсивности в минимуме $I/I_0 = 0.9$ и ширину спектров $\Gamma_s = 12 \text{ см}^{-1}$. Эти спектры НПВО ПП на 90% перекрываются.

На рис. 1 (кривые 6, 7) показаны расчетные спектры НПВО ПП-2 и ПП-1 при $\alpha = 25.2$ и 25.2° и зазорах 72 и 49 мкм, подобранных так, чтобы в минимуме спектра $I/I_0 = 0.9$. Частоты ПП-2 и ПП-1 составляют 401 и 423 см^{-1} , а ширина спектров равна 12 см^{-1} при использовании $\gamma_{\text{ph}} = 11 \text{ см}^{-1}$ и данных образца ZO2-3 [4]. Отметим, что для ZnO лишь при $\text{K} \parallel \text{C}$, $xy \parallel \text{C}$ наблюдаются ПП-2. Таким образом, впервые показано, что наличие затухания приводит к генерации ПП в окрестности «точки остановки», и в реальных случаях она не является особой точкой. В нашей работе спектры ПП-2 плавно переходят в ПП-1. Частота 412 см^{-1} может быть «точкой остановки» лишь в гармоническом приближении. На частоте 412 см^{-1} наблюдается спектр НПВО ПП смешанного типа, когда генерируются одновременно ПП первого и второго рода. Несмешанные «чистые» ПП-2 и ПП-1 проявляются при различии углов больше чем 0.5° , что приводит к значениям $Kc/\omega_{t\parallel} = 1.0694$ и 1.1489 . Можно видеть, что коэффициенты затухания для этих частот одинаковы и равны 4 см^{-1} (рис. 2) для нелегированного ZnO. Реальные спектры ПП значительно шире (рис. 1). Экспериментальные спектры НПВО ПП-2 и ПП-1 позволяют оценить Γ_{sp} сильно легированного образца ZnO. Увеличение концентрации электронов до $n_0 = 6.6 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ в окрестности частоты 412 см^{-1} приводит к коэффициенту затухания $\Gamma_{\text{sp}} = 5.5 \text{ см}^{-1}$ (кривые 1a и 1b на рис. 3). Этот рисунок показывает, что ширина спектра Γ_s значительно больше коэффициента затухания $\Gamma_{\text{sp}2}$. Три точки на кривой 1 получены при помощи экспериментальных спектров НПВО ПП ZO1, линии — расчет. Кривые 2a и 2b соответствуют расчетным значениям «истинной» ширины спектра, которая совпадает с данными рис. 2.

ППФП первого и второго рода в окрестности 412 см^{-1} отличаются от фононных ПП увеличенным коэффициентом затухания Γ_{sp} . Эти данные свидетельствуют о том, что пространственная структура полей ПП-2 и ПП-1 не проявляет отличительных особенностей ни в спектрах ПП, ни в коэффициенте затухания.

Список литературы

- [1] T.R. Barlas, N.L. Dmitruk. Phys. Stat. Sol. (b) 187, 109 (1995).
- [2] L. Wendler, R. Naypt. J. Phys. C: Solid State Phys. 19, 2, 1871 (1986).
- [3] И.И. Решина, Д.Н. Мирлин, А.Г. Банщиков. ФТТ 18, 2, 506 (1976).
- [4] А.В. Мельничук, Л.Ю. Мельничук, Ю.А. Пасечник. ФТТ 38, 2, 651 (1996).
- [5] Н.Л. Дмитрук, В.Г. Литовченко, В.Л. Стрижевский. Поверхностные поляритоны в полупроводниках и диэлектриках. Киев (1989).