

- [1] Bozorth R.M., Gambion R.J. Phys. Rev. **147**, 2, 487 (1966).
 [2] Shirane G., Pickart S.J. J. Appl. Phys. **37**, 3, 1032 (1966).
 [3] Howard B.K., Bohr J. Phys. Scr. **T39**, 96 (1991).
 [4] Pengra D.B., Thoft N.B., Wulff M., Feidenhans'l R., Bohr J. J. Phys.: Cond. Matter. **6**, 2409 (1994).
 [5] Катаев Г.И., Шубин В.В. ФММ **48**, 1, 188 (1979).

УДК 535.215:621.315:539.21

Физика твердого тела, том 38, № 2, 1996
 Solid State Physics, vol. 38, N 2, 1996

ВЛИЯНИЕ АНИЗОТРОПИИ НА ДИСПЕРСИОННЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЛАЗМОН-ФОНОННЫХ ПОЛЯРИТОНОВ ОКИСИ ЦИНКА

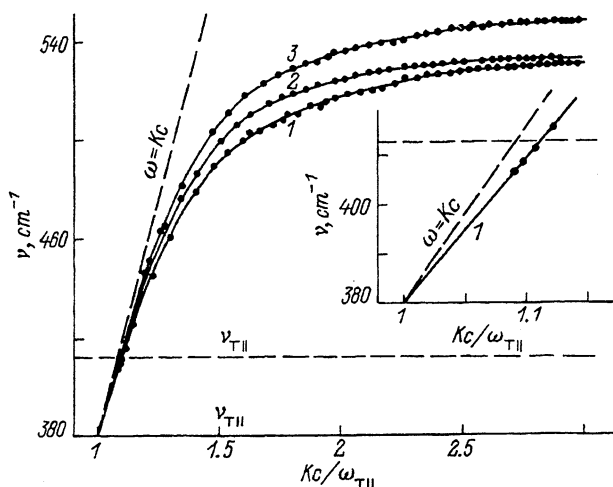
© А.В.Мельничук, Л.Ю.Мельничук, Ю.А.Пасечник

Украинский государственный педагогический университет
 252000 Киев, Украина
 (Поступила в Редакцию 4 апреля 1995 г.
 В окончательной редакции 14 августа 1995 г.)

Впервые поверхностные плазмон-фононные поляритоны (ППФП) в сильно легированных анизотропных полупроводниках исследованы теоретически в работе Гуревича и Тарханяна [1]. Поверхностные плазмон-поляритоны (ППФП) в одноосном полупроводнике имеют дисперсионные соотношения, число которых зависит от концентрации носителей зарядов и от ориентации оптической оси кристалла C относительно его поверхности. Экспериментальные дисперсионные зависимости ППФП в сильно легированном гексагональном карбиде кремния SiC $6H$ получены в [2]. Однако различия этих зависимостей определяются преимущественно анизотропией эффективной массы электронов в SiC $6H$. В данной работе исследованы зависимости частоты ППФП $\nu_s(K)$ гексагональной окиси цинка от приведенного волнового вектора K при трех ориентациях оси C кристалла относительно его поверхности. При этом использованы взаимосогласованные параметры модели ZnO , полученные для этого кристалла в [3].

Окись цинка кристаллизуется в структуре вюртцита с пространственной группой $C_{6v}^4(P6_3mc)$. Экспериментальные спектры модифицированного нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) ППФП ZnO получены при помощи спектрометра ИКС-29 и приставки НПВО-2. В качестве элемента НПВО выбран полуцилиндр из KRS-5 с показателем преломления $n = 2.38$. Размер монокристаллов ZnO ($10 \times 8 \times 8$ mm) позволял получать спектры НПВО в p -поляризованном излучении.

На рисунке показаны (точками) три экспериментальные дисперсионные зависимости $\nu_s(K)$ ППФП образца окиси цинка $ZO2-3$. Кривая 1 получена при ориентации $K \parallel C$, $xy \parallel C$. Безразмерный волновой вектор $q = Kc/\omega_T$, где K — волновой вектор ППФП, c — скорость света,



Дисперсионные зависимости $\nu_s(\mathbf{K})$ ППФП.

Образец ZО2-3, $n_0 = 9.3 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. 1 — $\mathbf{K} \parallel \mathbf{C}$, $xy \parallel \mathbf{C}$; 2 — $\mathbf{K} \perp \mathbf{C}$, $xy \perp \mathbf{C}$; 3 — $\mathbf{K} \perp \mathbf{C}$, $xy \parallel \mathbf{C}$. На вставке — $\mathbf{K} \parallel \mathbf{C}$, $xy \parallel \mathbf{C}$.

$\omega_{T||}$ — циклическая частота поперечного оптического фонона ZnO при $\mathbf{E} \parallel \mathbf{C}$. Оси x, y лежат на поверхности образца. Кривая 2 соответствует $\nu_s(\mathbf{K})$ при $\mathbf{K} \perp \mathbf{C}$ и $xy \perp \mathbf{C}$, а кривая 3 — ориентации $\mathbf{K} \perp \mathbf{C}$ и $xy \perp \mathbf{C}$.

Эти три зависимости $\nu_s(\mathbf{K})$ ППФП (на рисунке линии) могут быть получены при помощи выражения [1]

$$K_x^2 = \varepsilon_{||}(\nu)[1 - \varepsilon_{\perp}(\nu)]/[1 - \varepsilon_{||}(\nu)\varepsilon_{\perp}(\nu)], \quad (1)$$

где $K_x = Kc/\omega$, ω — циклическая частота, ν — частота излучения, а $\varepsilon_{\perp}(\nu)$, $\varepsilon_{||}(\nu)$ — диэлектрические функции ZnO перпендикулярно и параллельно оси \mathbf{C} . Уравнение (1) записано для ориентации $\mathbf{K} \perp \mathbf{C}$ и $xy \perp \mathbf{C}$ (кривая 2). Если $\varepsilon_{||}(\nu)$ и $\varepsilon_{\perp}(\nu)$ поменять местами, то при помощи (1) можно получить $\nu_s(\mathbf{K})$, показанную кривой 1. Зависимости 1, 2 соответствуют необыкновенным ППФП. Обыкновенные ППФП проявляются при ориентации $\mathbf{K} \perp \mathbf{C}$ и $xy \parallel \mathbf{C}$, выражение (1) преобразуется при замене $\varepsilon_{||}(\nu)$ на $\varepsilon_{\perp}(\nu)$ (кривая 3).

Согласие расчета с экспериментальными данными достигнуто при использовании в расчете $\varepsilon_{||}(\nu)$ и $\varepsilon_{\perp}(\nu)$ оптических параметров ZnO, полученных на основе дисперсионного анализа спектров отражения образца ZО2-3 при концентрации электронов $n_0 = 9.3 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ и учете анизотропии их эффективной массы в ZnO [3]. Частоты плазмон-фононных колебаний (кривые 2, 3) соответственно равны 548 и 560 cm^{-1} при частотах плазменного резонанса $\nu_{p\perp} = 90 \text{ cm}^{-1}$ и $\nu_{p||} = 100 \text{ cm}^{-1}$ ($\mathbf{E} \perp \mathbf{C}$, $\mathbf{E} \parallel \mathbf{C}$).

Анизотропия ППФП проявляется при $Kc/\omega_{T||} > 1.2$. Так, при $Kc/\omega_{T||} = 2$ $\delta\nu_s = 18 \text{ cm}^{-1}$ (кривые 1, 3). При $K \rightarrow \infty$ кривые 1, 2 стремятся к 548 cm^{-1} .

На рисунке в увеличенном масштабе показана часть $\nu_s(\mathbf{K})$ в области частот $380\text{--}420\text{ см}^{-1}$ (см. вставку). В этом диапазоне до 412 см^{-1} проявляются ППФП второго типа, существование которых ограничено условиями $\varepsilon_x(\nu) < 0$ и $\varepsilon_z(\nu) > K_x^2$ [1]. Точками показаны экспериментальные данные для частот ν_s ППФП второго типа, которые согласуются с расчетом. $\nu_s(K)$ ППФП первого типа, когда $\varepsilon_x(\nu) < 0$ и $\varepsilon_z(\nu) < 0$, начинаются с частоты 412 см^{-1} , экспериментальная зависимость $\nu_s(\mathbf{K})$ (кривая 1) непрерывна. Мы смоделировали на ЭВМ спектры НПВО ППФП первого и второго типов в точках, близких к частоте 412 см^{-1} («точка остановки») [4]. Расчет спектров проведен для ориентации $\mathbf{K} \parallel \mathbf{C}$, $xy \parallel \mathbf{C}$ на частоте $\nu_{sp2} = 411\text{ см}^{-1}$ и $\nu_{sp1} = 413\text{ см}^{-1}$ при величине зазора между элементом НПВО и образцом $d_s = 60\text{ мкм}$ при коэффициенте затухания поперечных фононов $\gamma_{ph} = 11\text{ см}^{-1}$ [3]. Значения $K_{sp2} = Kc/\omega_{T\parallel} = 1.10415$ и $K_{sp1} = Kc/\omega_{T\parallel} = 1.11054$. Оба спектра имеют одинаковую интенсивность в минимуме и одинаковую его ширину $\Gamma_p = 12\text{ см}^{-1}$. Спектры практически перекрываются, что свидетельствует о том, что при частоте падающего излучения 412 см^{-1} при наличии затухания у ППФП генерируются одновременно ППФП первого и второго типов. Экспериментальный спектр НПВО ППФП с минимумом на частоте 408 см^{-1} имеет $\Gamma_p = 32\text{ см}^{-1}$, что соответствует коэффициенту затухания ППФП $\Gamma_{sp} = 4\text{ см}^{-1}$.

Таким образом, в данной работе впервые показано влияние анизотропии кристалла на дисперсионные зависимости ППФП на примере гексагональной окиси цинка. Изучены также дисперсионная зависимость ППФП второго типа и их затухание в окрестности «точки остановки».

Список литературы

- [1] Гуревич Л.Э., Тарханян Р.Г. ФТТ 17, 7, 1944 (1975).
- [2] Пасечник Ю.А., Венгер Е.Ф. Поверхность. Физика, химия, механика 8, 63 (1982).
- [3] Мельничук А.В., Мельничук Л.Ю., Пасечник Ю.А. ФТТ 36, 9, 2624 (1994).
- [4] Falge H.J., Otto A. Phys. Stat. Sol. (b) 56, 2, 523 (1973).