

## СООТНОШЕНИЯ КРАМЕРСА–КРОНИГА В ПРИРАЩЕНИЯХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КРИСТАЛЛОВ GaAs

К. ф.-м. н. И. Е. Матяш, к. ф.-м. н. И. А. Минайлова, к. ф.-м. н. О. Н. Мишук,  
д. ф.-м. н. Б. К. Сердега

Институт физики полупроводников им. В. Е. Лашкарёва НАН Украины  
Украина, г. Киев  
khlopynova@mail.ru

*Техникой модуляционной поляриметрии в слаболегированном кристалле GaAs измерены приращения показателей преломления и коэффициента поглощения как компоненты приращения комплексного показателя преломления. Приращения были получены в результате действия тестирующей деформации. С использованием соотношения Крамерса–Кронига проведено сопоставление приращений указанных величин с такими параметрами резонанса, как амплитуда и фаза в модели Друде–Лоренца.*

*Ключевые слова: поляриметрия, резонанс, соотношение Крамерса–Кронига, двулучепреломление, дихроизм.*

Известно, что соотношения Крамерса–Кронига (К-К) [1] выражают интегральную связь между действительной и мнимой частями любой физической комплексной функции. В оптической спектроскопии они традиционно используются с целью определения компонент комплексного показателя преломления среды с помощью спектроскопии пропускания или отражения в форме инверсии данных измерений [2]. Имея силу закона, связывающего в интегро-дифференциальной форме амплитуду и фазу колебательных и резонансных явлений, соотношения К-К свойственны всевозможным средам, объектам и структурам, возбуждение которых осуществляется соответствующим физическим воздействием. С этих позиций обнаружение в исследовательской практике факта несоответствия полученных данных соотношениям К-К следовало бы воспринимать как проявление нового свойства в силу взаимной зависимости действительной и мнимой частей комплексного показателя преломления. В таком случае соотношения К-К следует рассматривать как способ тестирования веществ на предмет выявления оригинальных свойств. Спрос на такую диагностическую методику особенно актуален у разработчиков новых материалов с использованием современных технологий. Отсюда следует цель работы: установление соответствия соотношениям К-К спектров диэлектрических свойств, представленных в виде спектральных зависимостей приращений показателя преломления  $\Delta n(\omega)$  и коэффициента поглощения  $\Delta k(\omega)$ , где  $\omega$  — частота.

В данной работе проведена экспериментальная реализация соотношений К-К на примере спектров пропускания кристалла GaAs. Было произведено измерение разности фаз ортогональных линейных поляризаций  $\Delta n(\omega) = n_{\parallel} - n_{\perp}$  и разности коэффициентов поглощения  $\Delta k(\omega) = k_{\parallel} - k_{\perp}$ , нормированных на единицу упругой деформации исследуемого образца. Измерительная схема для регистрации зависимостей  $\Delta n(\omega)$  и  $\Delta k(\omega)$  представляла собой традиционную схему для измерения фотоупругого эффекта с дополнением фотоупругого модулятора поляризации [3].

Для решения задачи работы был измерен спектр пропускания кристалла  $T(\omega)$  и с его помощью, на основании закона Бугера–Ламберта, была получена спектральная зависимость коэффициента поглощения  $\alpha(\omega)$ . В результате такого преобразования,  $\alpha(\omega)$  становится явной характеристикой резонанса в модели Друде–Лоренца. Далее были получены спектральные зависимости производной пропускания  $dT(\omega)/d\omega$  и приращения пропускания  $\Delta T = T_{\parallel} - T_{\perp}$  под действием одноосной деформации образца. Измерение приращений показателя преломления  $\Delta n(\omega)$  и коэффициента поглощения  $\Delta k(\omega)$  техникой модуляционной поляриметрии подробно рассмотрены в [3]. Не составит

труда интерпретировать  $\Delta n(\omega)$  и  $\Delta k(\omega)$  в виде производных соответствующих функций, т. е.  $\Delta n(\omega) \approx dn/d\omega$ ,  $\Delta k(\omega) \approx dk/d\omega$ . Следовательно, это дает основания для восприятия функций  $\Delta n(\omega)$  и  $\Delta k(\omega)$  как инвертированных компонент соотношения К-К. Приращение  $\Delta n(\omega)$  является аналогом одной из компонент соотношений К-К, а именно амплитудой характеристики резонанса  $k(\omega)$ , что и представлено на рис. 1, а. Что касается фазовой характеристики резонанса  $n(\omega)$ , то ее аналогом является функция  $\Delta k(\omega)$  или графический интеграл функции  $\Delta n(\omega)$  на том основании, что  $\Delta n(\omega)$  является производной показателя преломления. На рис. 1, б приведены зависимости  $n(\omega)$  (модель) и  $\Delta n(\omega)$  (графическое интегрирование), где наблюдается их удовлетворительное согласование.

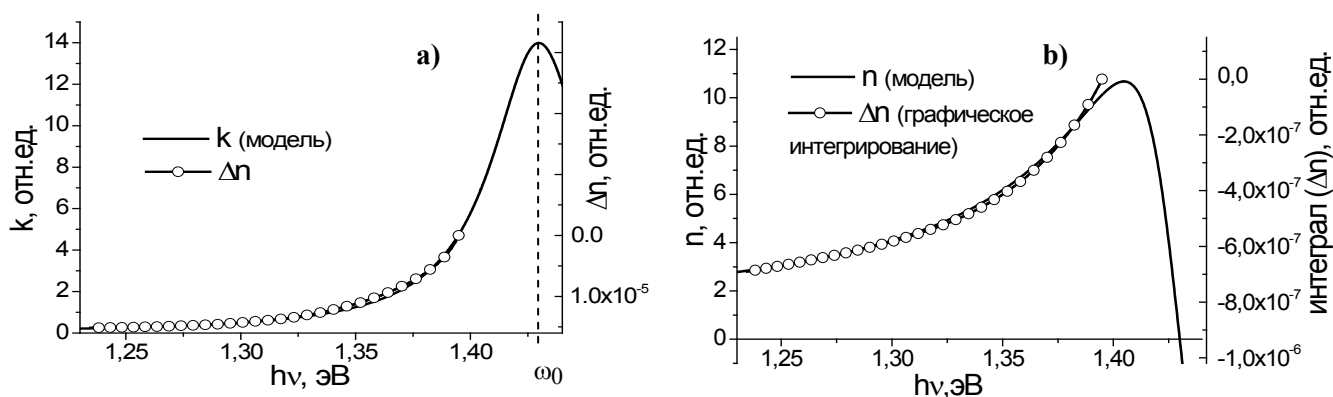


Рис. 1. Спектральные зависимости:

- а — коэффициента поглощения  $k$  (модель) и приращения показателя преломления  $\Delta n(\omega)$  (эксперимент);  
 б — показателя преломления (модель) и интеграла приращения  $\Delta n(\omega)$  (эксперимент + расчет)

В работе было показано, что функции  $\Delta n(\omega)$  и  $\Delta k(\omega)$  являются производными соответствующих оптических параметров  $n(\omega)$  и  $k(\omega)$ . В таком случае для их определения, в рамках соотношений К-К, необходимо выполнить двойное инвертирование:  $\Delta n(\omega) \rightarrow n(\omega) \rightarrow k(\omega)$ . Прделанная процедура позволила получить результаты, согласующиеся с данными публикаций других авторов.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Kronig R. de L. On the Theory of Dispersion of X-Rays // J. Opt. Soc. Am. 1926. V. 12(6), p.547-557.
2. Lucarini V., Saarinen J.J., Peiponen K.-E., Vartiainen E.M. Kramers–Kronig Relations in Optical Materials Research. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2005. 162 p.
3. Matyash I.E., Minailova I.A., Serdega B.K., Babichuk I.S. Research of optical and mechanical properties of lithium aluminosilicate glass-ceramics // Journal of Non-Crystalline Solids. 2017. № 459, p. 94–98.

I. Ye. Matyash, I. A. Minailova, O. N. Mishuk, B. K. Serdega

#### Kramers–Kronig relations in increments of dielectric properties of GaAs crystals

*Increments of refractive index and absorption coefficient were measured in the GaAs crystal by the modulation polarimetry technique as complex refractive index components. Integral connection between the increment of the refractive index and absorption coefficient (Kramers–Kronig relation) established. These parameters are correlated with the amplitude and phase in the Drude–Lorentz model.*

*Keywords: polarimetry, resonance, Kramers-Kronig relation, birefringence, dichroism.*