



Beynəlxalq Konfrans "Fizika-2005"
International Conference "Fizika-2005"
Международная Конференция "Fizika-2005"

7 - 9
iyun
June 2005
Июнь

səhifə
page 853-856
стр.

Bakı, Azərbaycan

Baku, Azerbaijan

Баку, Азербайджан

**ИНТЕРФЕРЕНЦИОННАЯ ОСЦИЛЛЯЦИЯ ПРОДОЛЬНОЙ ФОТОПРОВОДИМОСТИ
В ГЕТЕРОПЕРЕХОДАХ InSe – GaSe**

КЯЗЫМ-ЗАДЕ А.Г., САЛМАНОВ В.М., ДАДАШОВА В.В, АГАЕВА А.А.

*Бакинский государственный университет, ул.З.Халилова, 23
370148, Баку, Азербайджан, E-mail:bsu_aydin@yahoo.com*

Исследована интерференционная осцилляция продольной фотопроводимости вдоль слоя InSe в гетеропереходах InSe – GaSe, изготовленных методом посадки на оптический контакт. Установлено, что в спектрах продольной фотопроводимости вдоль слоя InSe в исследованных ГП наблюдаются четкие осцилляции фототока в зависимости от длины волны света, которые коррелируются с осцилляцией пропускания тонкого широкозонного верхнего слоя GaSe, через который освещается ГП. При этом происходит дополнительное усиление фоточувствительности слоя InSe вследствие перехода неравновесных фотодырок из InSe в GaSe под действием поле ГП.

Optik kontakt üsulu ilə hazırlanmış InSe – GaSe heteroqəçidlərində InSe təbəqəsi boyunca uzununa fotoqəçiriciliyin interferensiyası tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, tədqiq edilən heteroqəçidlərdə heteroqəçidi GaSe tərəfdən işıqlandırıldıqda InSe təbəqəsi boyunca uzununa fotoqəçiricilik spektrində dalğa uzunluğundan asılı olaraq fotocərəyanın aydın ossilyasiyası müşahidə edilir. Bu ossilyasiya heteroqəçidin üst enlizolaqlı nazik GaSe təbəqəsinin buraxma spektrində müşahidə edilən ossilyasiyaya uyğun gəlir. Bu halda heteroqəçidin elektrik sahəsinin təsiri ilə InSe –dən GaSe – nə keçən tarazlıqda olmayan dəşiklərin hesabına ftohəssaslığın əlavə güclənməsi baş verir.

It is investigated the interferential oscillation of longitudinal photoconductivity along a layers of InSe in InSe-GaSe heterojunctions, manufactured by the method of planting to optical contact. It is established that the precise oscillation of photocurrent depending on the light wavelength are observed in spectrum of longitudinal photoconductivity, which are correlated with oscillation of absorption of thin wide bandgap top layers of GaSe, through which illuminates the heterojunction. Thus there is an additional strengthening of photosensitivity of InSe layers, owing to transition of nonequilibrium photoholes from InSe to GaSe under influence of a field of heterojunction.

Специфическая слоистая структура монокристаллов слоистых соединений типа $A^{III}B^{VI}$ позволяет готовить на их основе тонкие пластины с параллельными гранями. Такие пластины обладают поверхностями высокого качества с малой концентрацией поверхностных состояний [1], вследствие чего удается приготовить простым скальванием резонаторов Фабри-Перо с фотопроводящей активной областью. Свойства резонаторов Фабри-Перо, приготовленных из полуизолирующего GaAs(Cr), детально анализированы в работах [2,3]. А влияние интерференции на оптические и фотоэлектрические свойства указанных слоистых кристаллов изучены в работах [4-7]. В частности, для GaSe влияние интерференции на спектр пропускания и модуляционные спектры изучены в работах [4,5], а в [6,7] более подробно исследованы

интерференционные осцилляции фототока в кристаллах InSe, GaSe [6], GaSe(Sn), GaSe_{0,95}Te_{0,05}(Sn) [7]. Было показано, что в отличие от результатов, описанных в [2,3], фоточувствительность которых обусловлена примесной фотопроводимостью, в случае пластин слоистых полупроводников фототок возбуждается светом из собственной полосы поглощения в широком спектральном диапазоне. Однако, четкая осцилляция фототока наблюдается лишь вблизи края фундаментального поглощения. С ростом энергии кванта света амплитуда интерференционных экстремумов уменьшается, что связано с возрастанием коэффициента поглощения. В данной работе приводятся некоторые результаты исследования интерференционной осцилляции продольной фотопроводимости в гетеропереходах (ГП) InSe – GaSe.

ГП в системе InSe – GaSe были изготовлены методом посадки на оптический контакт. Возможность изготовления ГП на основе слоистых кристаллов методом посадки на оптический контакт ранее была продемонстрирована в ряде работ (см. напр., [8]). Было показано, что указанный метод изготовления ГП не требует совместимости решеточных и термических параметров контактируемых материалов и исключает образованию дополнительных пограничных состояний на границе раздела фаз. Вследствие этого граница раздела фаз ГП, изготовленных методом посадки на оптический контакт, является достаточно совершенной и их энергетические зонные диаграммы удовлетворительно соответствуют идеальной модели Андерсона, в которой не учитываются наличие пограничных состояний. Кроме этого, при этом удовлетворительно сохраняется плоскопараллельность приводимых в контакт слоев слоистого полупроводника и зазор между поверхностями контактируемых материалов становится гораздо меньше, чем четверть длины волны света, соответствующей видимой и близкой ИК области спектра. Поэтому при этом осуществляется также хороший оптический контакт и становится возможным проявления интерференционных эффектов.

Для изготовления ГП в системе InSe – GaSe были использованы плоскопараллельные пластины GaSe и InSe с толщиной 10 – 50 и 100 – 200 мкм, соответственно. До изготовления ГП снимались спектры пропускания пластин GaSe и для изготовления ГП были выбраны пластины, обладающими интерференционными свойствами. Для изучения фотопроводимости в продольном режиме поверхность ГП со стороны InSe была снабжена двумя омическими контактами. Измерения проводились при температуре 300 К и выше на установке КСВУ-23 в схеме, использующей "эффект окна".

Исследование электрических и фотоэлектрических свойств показало, что граница раздела изученных ГП является достаточно совершенной и особенности энергетической зонной диаграммы способствует эффективному разделению неравновесных носителей контактным полем ГП. Вследствие этого наблюдается высокая фоточувствительность в схеме, использующей "эффект окна", когда ГП освещается со стороны широкозонного слоя GaSe. Для примера на рис.1 приведена спектральное распределение фоточувствительности исследованных ГП. В этом случае для изготовления ГП были использованы более толстые слои GaSe, когда не проявляются интерференционные эффекты. Как видно, спектральные распределения фоточувствительности исследованных ГП при освещении структуры со стороны GaSe охватывают широкий диапазон длин волн, заключенных между ширинами запрещенных зон контактирующих материалов. Красная граница спектра соответствует ширине запрещенной зоны монокристаллов InSe ($E_g \approx 1,18$ эВ) для непрямых переходов, а коротковолновая граница спектра

ограничивается областью сильного поглощения монокристаллов GaSe. При этом свет поглощается на передней поверхности монокристаллов GaSe и из-за малой диффузионной длины неосновных носителей в слоистых кристаллах они не доходят до области перехода и не происходит разделения фотоносителей между фазами. Резкий рост фоточувствительности в области спектра, где энергия кванта $h\nu$ меньше, чем соответствующей значению ширины запрещенной зоны монокристаллов GaSe, по-видимому, связан с эффектом Франца-Кельдыша, индуцированного внутренним полем контактного барьера. Поскольку использованные монокристаллы GaSe более высокоомны, чем монокристаллы InSe, можно принять, что практически вся КРП падает на GaSe. Это частично подтверждается также тем, что значение фотоэдс в области поглощения InSe меньше, чем в области поглощения GaSe.

На рис.2 представлены спектры пропускания тонких (кривая 1, $d \approx 40$ мкм) и толстых (кривая 2, $d \approx 170$ мкм) слоев GaSe. Как видно, в толстых слоях интерференционные эффекты не проявляются, а в тонких слоях наблюдается четкая осциляция пропускания в зависимости от длины волны. Как известно [10], при нормальном прохождении света сквозь плоскопараллельные слои полупроводника, толщина которой соизмерима с длиной волны света, зависимость прозрачности от длины волны λ , показателя преломления n и толщины d выражается формулой

$$T = \frac{(1 - R_{12})^2}{1 + R_{12}^2 - 2R_{12} \cos \delta}, \quad (1)$$

где $\delta = \frac{4\pi}{\lambda} nd$ и $R_{12} = \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2$. При длинах волн

$\lambda_{\max} = \frac{4nd}{k}$ ($k = 2, 4, 6, \dots$) наблюдаются

максимумы, а при длинах волн $\lambda_{\min} = \frac{4nd}{k}$ ($k = 1, 3,$

$5, \dots$) наблюдаются минимумы. Если показатель

преломления $n(\lambda)$ зависит от длины волны, то из

интерференционных полос нельзя определить $n(\lambda)$

для каждой длины волны. Однако часто можно

считать $n(\lambda) = const$, тогда на основании длин волн

λ_m и λ_{m-1} ($m = k/2$ - целое число),

соответствующих соседним максимумам в спектре

прозрачности, может быть определено произведение

nd из равенства $2nd = m\lambda_m = (m-1)\lambda_{m-1}$,

откуда

$$nd = \frac{\lambda_m \lambda_{m-1}}{2(\lambda_{m-1} - \lambda_m)}. \quad (2)$$

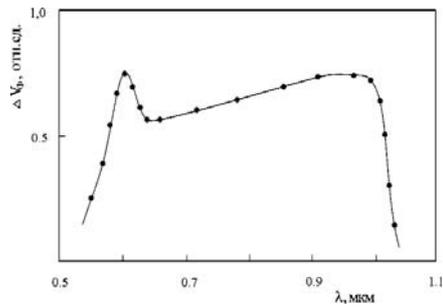


Рис.1. Спектральное распределение фоточувствительности ГП InSe - GaSe при T=300 К.

При известной толщине слоя из (2) вычисляется показатель преломления n . В том случае, когда показатель преломления нелинейно и слабо зависит от длины волны, таким методом определяют некоторый средний в интервале длин волн $\lambda_{m-1} \div \lambda_m$ показатель преломления. Анализ кривой 1 на рис.2 показывает, что в интервале длин волн 0,630 – 0,640 мкм произведение $nd \approx 224$ мкм практически остается константой, что свидетельствует о связи наблюдаемой осцилляции пропускания с интерференцией. Считая $d \approx 40$ мкм, для показателя преломления получаем значение $n = 2,82$, что согласуется с результатами [11] $n^2 = \epsilon = 8$ вдоль гексагональной оси "С".

Как было установлено экспериментально, в спектрах продольной фотопроводимости исследованных ГП наблюдаются четкие осцилляции фототока в зависимости от длины волны света, которые коррелируются с осцилляцией пропускания широкозонного верхнего слоя, через который освещается ГП.

Для примера на рис.3 представлены спектр пропускания слоя GaSe (кривая 1) и спектр продольной фотопроводимости ГП InSe – GaSe, изготовленного на основе этого же слоя GaSe.

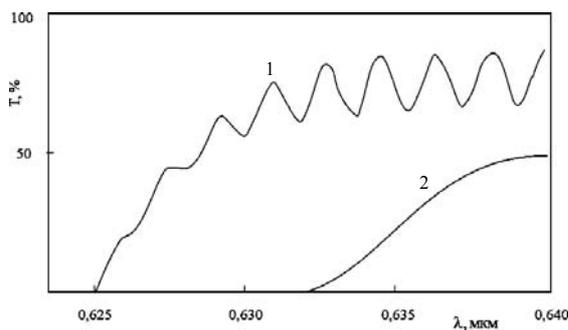


Рис.2. Спектры пропускания тонких (1) и толстых (2) слоев GaSe.

Как видно, осцилляция продольной фотопроводимости ГП вдоль слоя InSe хорошо коррелируется с осцилляцией слоя GaSe. Спектральная область осцилляции охватывает широкий диапазон длин волн 0,62 -1,02 мкм. При этом шаг осцилляции зависит от толщины слоя GaSe и уменьшается с ростом последнего. Аналогичные зависимости наблюдаются также в ГП InSe – GaS_xSe_{1-x} при $x = 0,2; 0,4$ и $1,0$.

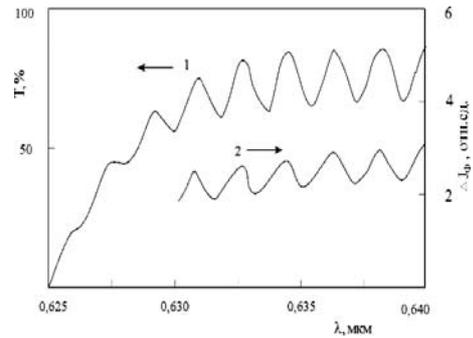


Рис.3. Спектр пропускания слоя GaSe (1) и продольной фотопроводимости по слоям InSe (2) в ГП InSe – GaSe. Толщина слоя GaSe $d \approx 42$ мкм.

В отличие от монокристаллов InSe и GaSe, описанных в [6,7], в которых осцилляция фототока имеют место в области сильного поглощения и в том же элементе, играющий роль резонаторов Фабри-Перо, в нашем случае роль резонаторов играют пластины GaSe в непоглощающей области, ($h\nu < E_{g(GaSe)} = 2,0$ эВ), а фотопроводимость возникает в слоях InSe в области сильного поглощения ($h\nu \geq E_{g(InSe)} = 2,0$ эВ). С другой стороны, созданные при этом неравновесные фотодырки в InSe под действием поле ГП переходят в GaSe, вследствие чего происходит дополнительное усиление фоточувствительности слоя InSe [12]. По-видимому, в этом же заключается основная преимущества ГП InSe – GaSe (а также InSe – GaS_xSe_{1-x}) при исследовании интерференционной осцилляции фототока по отношению к исходным кристаллам InSe и GaSe (или же GaS_xSe_{1-x}). Как показано в работах [13-14], в многослойных полупроводниковых структурах с тонкими чередующимися слоями разного типа проводимости, в том числе и в сэндвич фоторезисторах на основе одиночных ГП, фоточувствительность в продольном режиме измерения приближается к фоточувствительности фотосопротивлений на основе собственного полупроводника. При этом слои считаются настолько тонкими, чтобы структура была насквозь пронизана электрическим полем р-п или гетероперехода. При освещении структуры собственным светом неравновесные электроны и дырки пространственно разделяются полем р-п перехода, вследствие чего время жизни фотоносителей сильно возрастает по сравнению с однородным полупроводником.

В заключении отметим, что при сильном освещении, когда достигается высокий уровень фотоинъекции дырок из InSe в GaSe, появляется осцилляционная фотопроводимость и в слоях GaSe, несмотря на то, что свет поглощается монокристаллами InSe.

-
- [1]. Тагиров В.И., Кязым-заде А.Г., Панахов М.М., Гулиев А.О., Салманов В.М. Изв.ВУЗ-ов, Физика, 6, 28, 1981.
- [2]. Рывкин Б.С. ФТП, 13, 367, 1979.
- [3]. Рывкин Б.С. Письма в ЖТФ, 5, 65, 1979; 5, 586, 1979.
- [4]. Antonioli G., Bianchi D., Canevari V., Emiliani U., Podini P. Phys.Stat.Sol.(b), 81, 665, 1977.
- [5]. Subashiev V.K. Surf.Sci., 37, 947, 1973.
- [6]. Бельский Г.Л., Нейман-заде И.К., Салаев Э.Ю. ФТП, 15, 1240, 1981.
- [7]. Багирзаде Э.Ф., Тагиев Б.Г., Мамедов Г.М. ФТП, 15, 1296, 1981.
- [8]. Кязым-заде А.Г. Докт.диссертация, Баку, 1987.
- [9]. Милнс А., Фойхт Д. Гетеропереходы и переходы металл-полупроводник. Мир, М., 1975.
- [10]. Уханов Ю.И. Оптические свойства полупроводников, Наука, М.,1977, 368 с.
- [11]. McGill T.C., Kurtin S., Fishbone L., Mead C.A. J.Appl.Phys., 41, 3831, 1970.
- [12]. Кязым-заде А.Г., Мехтиева Р.Н., Ахмедов А.А., ФТП, 25, 1392, 1991.
- [13]. Неустроев Л.Н., Осипов В.В., Холоднов В.В., ФТП, 14, 939,1980.
- [14]. Неустроев Л.Н., Осипов В.В., ФТП, 15, 1068, 1981.
- [15]. Неустроев Л.Н., Осипов В.В., ФТП, 15, 2086, 1981.