

06;07;12

## **Влияние коррозии металлического электрода на поляризационную чувствительность фотодетектора на основе барьера Шоттки Ag–GaAs(InP) с гофрированной границей раздела**

© Н.Л. Дмитрук, О.Ю. Маева, С.В. Мамыкин,  
О.В. Фурсенко, О.Б. Яструбчак

Институт физики полупроводников НАН Украины, Киев

Поступило в Редакцию 12 августа 1997 г.

Рассмотрено влияние коррозии металлического электрода (Ag) как на общий фотоответ барьерной структуры с гофрированной границей раздела, так и на его часть, связанную с возбуждением поверхностного поляритона. С помощью вольт-амперных и эллипсометрических измерений рассмотрено изменение параметров барьера и толщины верхнего электрода во времени.

Основным элементом конструкции фотодетектора, чувствительного к длине волны, углу падения и поляризации света, является барьер Шоттки с гофрированной границей раздела (дифракционной решеткой). Возникновение резонансного фотоответа такой структуры определяется возбуждением поверхностных плазменных поляритонов на границе воздух–металл. Улучшение селективных свойств фотодетектора достигается за счет оптимизации его параметров (глубины рельефа, толщины и оптических свойств слоя металла) [1]. В условиях поляритонного резонанса интенсивность электромагнитного поля в среде у поверхности металла возрастает на порядки величины. Такая особенность плазменных поляритонов определяет их высокую чувствительность к изменению оптических свойств среды вблизи поверхности металла. В настоящем сообщении сделана попытка использования этой особенности плазменных поляритонов для исследования деградации поляризационно-чувствительных фотодетекторов на основе барьеров Шоттки Ag–GaAs(InP). Серебро было выбрано с целью уменьшения диссипативных потерь плазменных поляритонов в металлической плен-

ке и связанного с этим уменьшения спектральной ширины резонансного пика фотоответа.

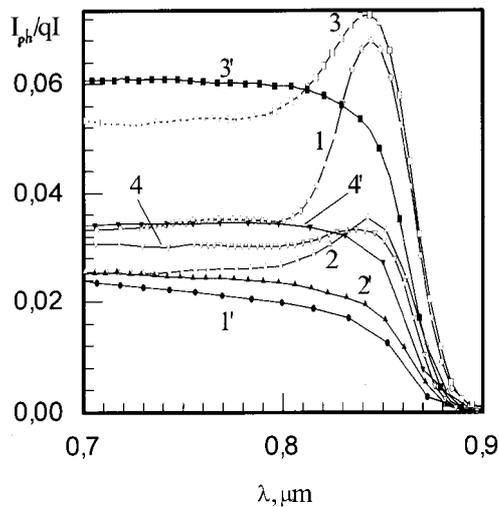
Измерялись спектральные зависимости фоточувствительности в режиме возбуждения плазменных поляритонов диодов Шоттки Ag–GaAs ( $N_d \approx 4 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ) с дифракционной решеткой на границе раздела и ее изменение при длительной выдержке диодов на воздухе. Дифракционная решетка с периодом  $a = 826 \text{ нм}$  и глубиной  $h = 125 \text{ нм}$  создавалась способом голографического экспонирования фоторезиста Ag-лазером. С помощью химического травления синусоидальный профиль с фоторезиста переносился на полупроводниковую подложку. Затем на подложку через маски напылялось серебро различной толщины (20–70 нм). Толщина серебра контролировалась пьезодатчиком в процессе напыления. Оптические характеристики пленок Ag различной толщины, напыленных на кварцевые подложки одновременно со структурами, измерялись в процессе их коррозии на воздухе с помощью метода многоугловой эллипсометрии [2], с привлечением также пропускания и отражения пленок-спутников на кварцевых подложках.

Структуры на основе InP перед нанесением пленки Ag окислялись в горячей азотной кислоте для создания туннельно-тонкого окисла однородного состава [3], увеличения эффективной высоты барьера и оптимизации рекомбинационных и транспортных свойств детекторов, контроль за которыми осуществлялся с помощью измерения вольт-амперных и вольт-фарадных характеристик.

На рис. 1 и 2 приведены экспериментальные зависимости фоточувствительности исследуемых фотодетекторов на основе GaAs и InP соответственно, которые отражают последовательные стадии их старения (деградации). Пики фотоответа соответствуют переизлучению плазменных поляритонов, распространяющемуся на границе воздух–Ag, в объемную световую волну посредством дифракционной решетки с последующей генерацией электронно-дырочных пар. При этом условие фазового синхронизма при переизлучении плазменных поляритонов на дифракционной решетке имеет вид

$$K_{\text{ПП}} = mG + \frac{2\pi}{\lambda} \sin \theta, \quad (1)$$

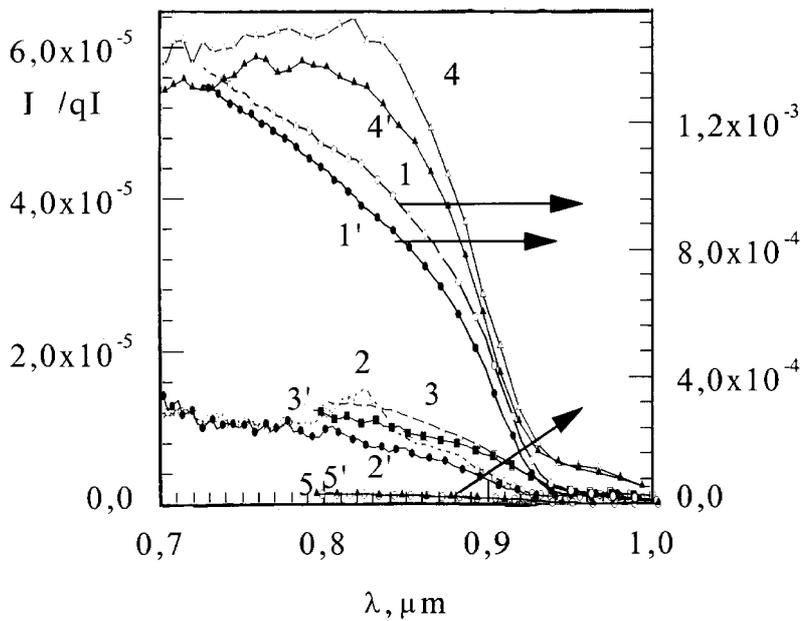
где  $K_{\text{ПП}}$  — волновой вектор плазменных поляритонов,  $G = \frac{2\pi}{a}$  — волновой вектор дифракционной решетки с периодом  $a$ ,  $m = \pm 1, \pm 2 \dots$  (порядок дифракции),  $\theta$  — угол падения света ( $\theta = 0$  в нашем случае).



**Рис. 1.** Спектры фототока структур Ag–GaAs, записанные до ( $1, 1'$ ), после двух ( $2, 2'$ ), шести ( $3, 3'$ ) и девяти ( $4, 4'$ ) месяцев экспозиции на воздухе для  $p$ - ( $1-4$ ) и  $s$ -поляризованного ( $1'-4'$ ) света и различной толщины слоя металла: 70 nm ( $1, 1'-3, 3'$ ); 20 nm ( $4, 4'$ ).

При экспозиции на воздухе, в котором обычно присутствуют пары воды и сероводорода, верхний электрод (Ag) корродирует — покрывается матовой пленкой ( $\text{Ag}_2\text{S}$ ). Покрытие металлического электрода поверхностной пленкой слабо изменяет частоту плазменных поляритонов в соответствии с дисперсионным соотношением (см., например, [4]). Максимум интенсивности поляритонного резонанса и его полуширина определяются величиной мнимой части диэлектрической проницаемости металла [5]. Поэтому после экспозиции на воздухе и утончения пленки Ag максимум фоточувствительности структуры Ag–GaAs изменяется, а его полуширина растет. Характер этой зависимости изменяется с толщиной металлической пленки: спад в случае тонкой пленки и немонотонное изменение в случае толстой.

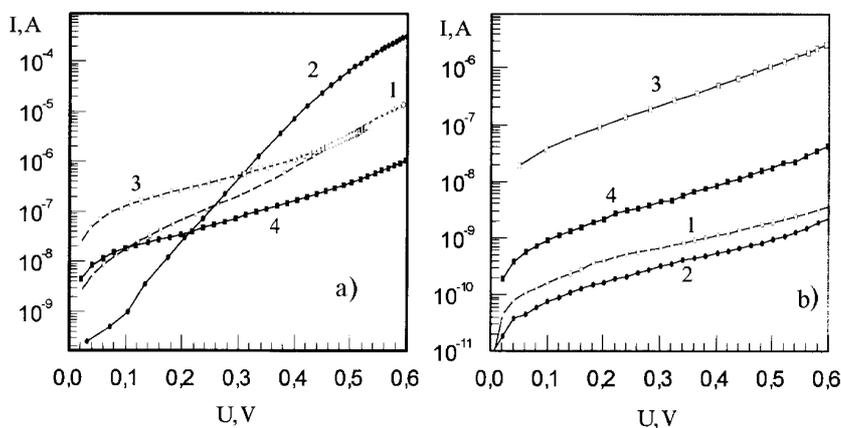
Кроме того, изменяется поляризационная чувствительность по всему спектру (а не только в максимуме). В области вне резонанса усиливается взаимодействие границы раздела фотодетектора со светом  $s$ -поляризации, когда вектор электрического поля параллелен штрихам



**Рис. 2.** Спектры фототока структур Ag–CO–InP, записанные до (1, 1', 2, 2'), после трех (3, 3'; 5, 5') и девяти (4, 4') месяцев экспозиции на воздухе для  $p$ - (1–5) и  $s$ -поляризованного (1'–5') света и различной толщины слоя металла: 70 nm (2, 2'–4, 4'), 20 nm (1, 1'; 5, 5').

дифракционной решетки (кривые 2, 2' для толстых, а кривые 4, 4' для тонких пленок Ag на рис. 1). Эта тенденция еще более усиливается при дальнейшем старении фотодетектора (кривые 3, 3' рис. 1).

Аналогичное, но более сильное изменение поляризационной чувствительности в районе максимума наблюдается для структур Ag–CO– $n$ -InP (рис. 2). Эти данные подтверждают мнение, высказанное в [6], о том, что границы раздела на InP количественно более реактивны, чем аналогичные интерфейсы на GaAs. Однако качественно реакции на этих границах подобны. Химические реакции на границах раздела очень чувствительны к присутствию окисла, его локальной стехиометрии и наличию пор в нем, облегчающих взаимную диффузию металла и летучих компонент подложки (As, P). Образование поглощающего  $\text{Ag}_2\text{S}$



**Рис. 3.** Вольт-амперные характеристики свежеприготовленных структур Ag-GaAs до (1,3) и после (2,4) двух месяцев экспозиции на воздухе при толщине слоя металла: *a* — 70 nm, *b* — 20 nm.

слоя начинается, по-видимому, на выступах рельефа решетки, причем вначале он растет, по-видимому, как островковая пленка [7]. Каждый из этих двух процессов дает свой вклад в коррозию металлического электрода и старение структур, усиливающиеся в условиях прикладываемого смещения и освещения. В соответствии с микроструктурными превращениями поверхностной пленки изменяются также барьерные характеристики контакта: прямой ток падает и увеличивается параметр неидеальности ВАХ (рис. 3), в особенности в случае тонкого слоя серебра и рельефной границы раздела. (Заметим, что в случае плоской границы раздела на начальной стадии наблюдается даже улучшение параметров барьера: параметр неидеальности уменьшается с 3.4 до 1.34, а высота барьера растет от 0.724 до 0.84 eV). Такое поведение барьерных характеристик очевидно обусловлено диффузией серебра как в сторону промежуточного слоя и полупроводника, так и к внешней поверхности пленки с образованием слоя химических соединений серебра. Утончение слоя металла и изменение его оптических параметров определены эллипсометрическим методом.

Эллипсометрические измерения выполнены на эллипсометре ЛЭФ-3М ( $\lambda = 632.8$  nm) по двухзонной методике на свежепригото-

## Оптические параметры.

№ образца	Свеженанпыленная пленка Ag						
	$n_{Ag}$	$k_{Ag}$	$d_{Ag}, nm$	$Im \epsilon$			
1	0.055	3.941	22.0	0.434			
2	0.066	4.106	66.5	0.542			
Через 12 месяцев после напыления Ag							
	$n$	$k$	$d, nm$	$n_{Ag}$	$k_{Ag}$	$d_{Ag}, nm$	$Im \epsilon$
1	1.372	0.349	8.6	0.900	4.400	17.8	7.92
2	1.262	0.030	8.7	0.050	4.270	47.7	0.43

вленных пленках Ag через два дня после напыления и через 12 месяцев. Используя специально разработанную программу решения обратной эллипсометрической задачи [2], получены приведенные в таблице параметры двухслойной пленки "Ag+ слой соединений". Там же приведены значения мнимой части диэлектрической проницаемости металла  $Im \epsilon = 2nk$ , определяющие интенсивность плазменного поляритонного резонанса. Видно, что особенно сильно этот параметр возрастает в случае тонких пленок Ag, т.е. резонанс ослабляется, что и является основной причиной деградации. В случае толстых пленок Ag, наоборот,  $Im \epsilon$  уменьшается, равно как уменьшается толщина металлического слоя и возрастает пропускание света в полупроводник. Первое обуславливает рост поляритонной фоточувствительности поверхностно-барьерных структур, а второе — возрастание фоточувствительности по всему спектру. На эти особенности плазменного резонанса накладываются процессы деградации самого барьера Ag–GaAs(InP), что и приводит к столь сложным (немонотонным) изменениям фоточувствительности диодов Шоттки.

## Список литературы

- [1] *Беляков Л.В., Сресели О.М.* // ФТП. 1991. Т. 25. В. 8. С. 1281–1296.
- [2] *Антонюк В.Н., Дмитрук Н.Л., Медведева М.Ф.* Эллипсометрия в науке и технике. Новосибирск; ИФП СО АН СССР. 1987. С. 66–71.
- [3] *Wad O., Majerfeld A., Robson P.* // Sol. St. Electron. 1982. V. 25. P. 381–387.

- [4] *Дмитрук Н.Л., Литовченко В.Г., Стрижевский В.Л.* Поверхностные поляритоны в полупроводниках и диэлектриках. Киев: Наук. думка, 1989. 376 с.
- [5] *Holst K., Raether H.* // *Opt. Commun.* 1970. V. 2. N 7. P. 312–316.
- [6] *Kendelenicz T., Newman N., List R.S.* et al. // *J. Vac. Sci. Technol. B.* 1985. V. 3. P. 1206–1211.
- [7] *Burge D.K., Bennett J.M., Peck R.L.* et al. // *Surf. Sci.* 1969. V. 16. P. 303–320.