

ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПРЯМОУГОЛЬНОГО СВЕТОВОЗВРАЩАТЕЛЯ. 1. МЕТАЛЛИЗАЦИЯ ОТРАЖАЮЩИХ ГРАНЕЙ НЕСКОЛЬКИМИ МЕТАЛЛАМИ

Прямоугольный световозвращатель (ПСВ) широко используется в различных системах ориентации и индикации объектов [1, 2]. Конструктивно он выполняется либо в виде полого отражателя, составленного из трех зеркал, либо в виде сплошной призмы, работающей в режиме полного внутреннего отражения (ПВО). С целью получения нужных характеристик отраженного излучения боковые отражающие грани призмного ПСВ могут быть металлизированы или покрыты многослойным диэлектриком [3, 4]. Призмные ПСВ, у которых металлизированы не все отражающие грани или металлизация осуществлена несколькими металлами, не исследованы.

Равнореберный ПСВ с боковыми отражающими гранями 1, 2 и 3 представлен на рис. 1. Состояние поляризации излучения, падающего перпендикулярно фронтальной грани 4 в направлении q_1 и отраженного $-q_1$, описывается в правовинтовых системах ортогональных векторов q_1, s, p и $-q_1, -s, p$ [3, 5]. Шести возможным способам прохождения светом ПСВ, отличающимся порядком переотражения от боковых граней (цифры вне фронтальной грани на рис. 1), соответствует разбиение фронтальной грани на шесть секторов. Из каждого сектора выходит отраженный пучок со своим, в общем случае эллиптическим состоянием поляризации. Границы секторов совпадают с проекциями в направлении падающей волны на фронтальную грань ребер ПСВ и их зеркальных изображений в боковых гранях.

Считаем, что линейно-поляризованный свет с азимутом поляризации $\alpha_{вх}$, отсчитываемым по часовой стрелке от оси s , и нормированной амплитудой электрического вектора

$$E_{вх} = \begin{bmatrix} \cos \alpha_{вх} \\ \sin \alpha_{вх} \end{bmatrix}$$

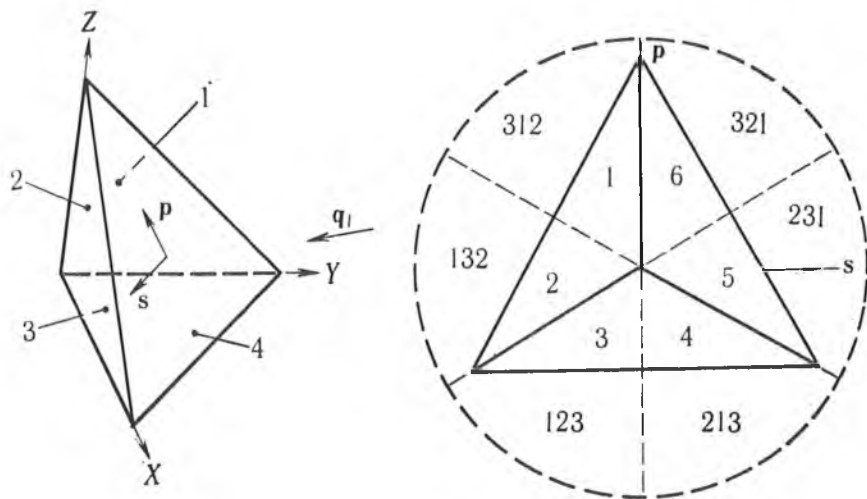


Рис. 1. Световозвращатель и системы координат (q_1, s, p) , $(-q_1, -s, p)$, в которых задано состояние поляризации входного и выходящего излучения. Фронтальная грань световозвращателя 4 и разбиение ее на сектора, соответствующие различным последовательностям отражения пучка от боковых граней 1, 2, 3

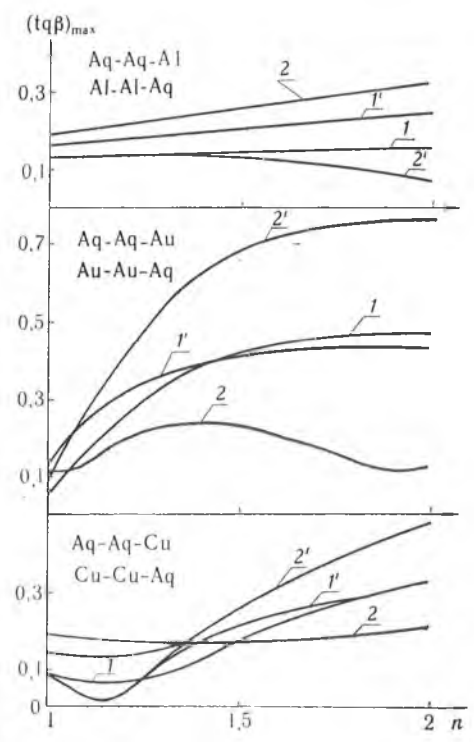
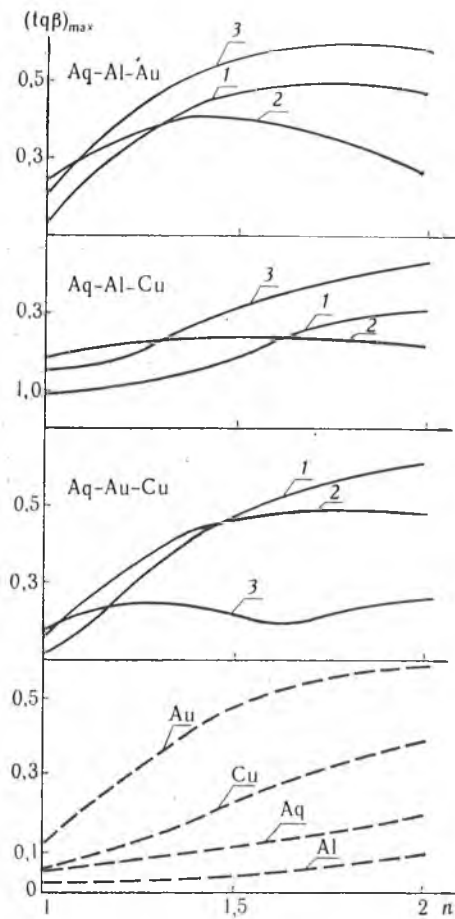


Рис. 2. Зависимости от показателя преломления максимальных значений эллиптичности поляризации пучков, выходящих из ПСВ, боковые грани которых металлизированы тремя металлами. Цифры обозначают номера секторов фронтальной грани

Рис. 3. Зависимости от показателя преломления максимальных значений эллиптичности поляризации пучков, выходящих из ПСВ, боковые грани которых металлизированы двумя металлами. Цифры со штрихами относятся к нижним наборам металлов

падает на ПСВ перпендикулярно его фронтальной грани. Все три боковые отражающие грани металлизированы, но в отличие от [3] — разными металлами. Назовем такие ПСВ полиметаллизированными, в отличие от традиционных монометаллизированных ПСВ. Анализ поляризационных свойств проведем с помощью матричного метода Джонса [3—6]. Согласно ему, матрица поляризационного действия световозвращателя получается в результате перемножения матриц поляризации отдельных граней в порядке прохождения их падающим пучком. Воспользуемся численным методом расчета поляризационного состояния волн, прошедших исследуемые ПСВ, алгоритм которого приведен в [7].

Для ПСВ, боковые грани которых металлизированы тремя разными металлами, зависимости максимальных значений эллиптичности отраженных пучков $(tg\beta)_{max}$ от показателя преломления n при длине волны $\lambda = 500$ нм показаны на рис. 2. Обозначение типа Ag — Al — Au соответствует тому, что первая боковая грань ПСВ серебряна, вторая — алюминирована, третья — золочена. Здесь же для сравнения штриховыми линиями приведены аналогичные зависимости для монометаллизированных ПСВ (металлизация серебром, алюминием, золотом или медью); эти кривые одинаковы для всех шести отраженных пучков. Отметим, что каждой точке зависимостей, приведенных на рис. 2, соответствует свое конкрет-

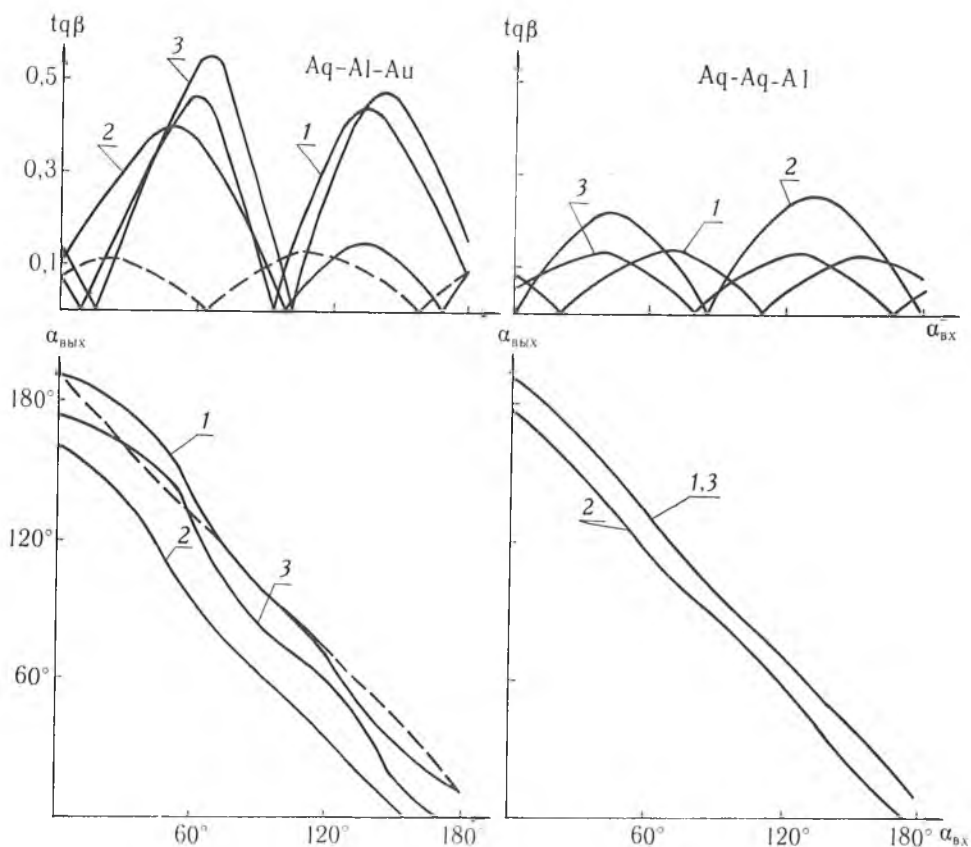


Рис. 4. Зависимости эллиптичности поляризации $\text{tg}\beta$ и азимута ориентации большой оси эллипса поляризации $\alpha_{\text{вых}}$ выходящего излучения от азимута поляризации $\alpha_{\text{вх}}$ входного линейно-поляризованного света для $\lambda = 500$ нм и $n = 1,5$. Цифры обозначают номера секторов фронтальной грани

ное значение $\alpha_{\text{вх}}^{\text{max}}$. При азимуте поляризации $\alpha_{\text{вх}} \neq \alpha_{\text{вх}}^{\text{max}}$ значения эллиптичности на выходе из соответствующего сектора фронтальной грани ПСВ $\text{tg}\beta < (\text{tg}\beta)_{\text{max}}$. Вообще говоря, зависимости $(\text{tg}\beta)_{\text{max}}(n)$ исследуемых ПСВ различны для всех шести пучков, однако для четвертого пучка (выходит из 4 сектора фронтальной грани) она качественно повторяет зависимость первого пучка, для пятого — второго, для шестого — третьего пучка. Перемена мест металлами приводит лишь к перенумерации пучков (кривых).

Все возможные случаи использования для металлизации двух металлов ввиду симметрии ПСВ можно свести к двум вариантам (на примере серебра и алюминия): $\text{Ag} - \text{Ag} - \text{Al}$ и $\text{Al} - \text{Al} - \text{Ag}$. Причем для получения полной информации о преобразовании световозвращателем поляризации ввиду наличия одной плоскости симметрии достаточно исследовать пучки, выходящие из первых двух секторов [9]. На рис. 3 представлены зависимости $(\text{tg}\beta)_{\text{max}}(n)$ при $\lambda = 500$ нм для некоторых таких ПСВ.

При любом показателе преломления зависимости эллиптичности выходящих пучков $\text{tg}\beta$ от $\alpha_{\text{вх}}$ имеют для исследуемых ПСВ в интервале $\alpha_{\text{вх}} = 0^\circ - 180^\circ$ по два минимума и максимума (рис. 4). Штриховыми линиями для сравнения приведены поляризационные характеристики пучка, выходящего из первого сектора световозвращателя, все три грани которого серебрены. В точках минимумов эллиптичность равна нулю, т. е. отраженный свет линейно поляризован. При прохождении этих точек изменяется направление вращения поляризации. Максимальные значения эллиптичности различных пучков не совпадают, что обусловлено на-

рушением симметрии ПСВ при металлизации его отражающих граней разными металлами. Зависимости ориентации большой оси эллипса поляризации выходящего излучения $\alpha_{\text{вых}}$ (отсчитывается против часовой стрелки от оси $-s$) от $\alpha_{\text{вх}}$ можно аппроксимировать линейной функцией, на которую наложена гармоническая добавка. Имеет место уменьшение $\alpha_{\text{вых}}$ с ростом $\alpha_{\text{вх}}$, как и в случае монометаллизированных ПСВ [3].

Численный анализ показывает, что ни при каких условиях металлизированный ПСВ не может преобразовать линейно-поляризованный падающий свет в отраженный свет циркулярной поляризации: $(\text{tg } \beta)_{\text{max}} \neq 1$. По сравнению с традиционным использованием одного металла, в случаях двух и трех металлов увеличивается максимальная эллиптичность выходящих пучков, хотя характер поведения зависимостей $(\text{tg } \beta)_{\text{max}}(n)$ напрямую коррелирует с аналогичными зависимостями соответствующих монометаллизированных ПСВ (см. рис. 2, 3). Для некоторых секторов, однако, возможно получение отраженного излучения с поляризацией, более близкой к линейной, чем у любого монометаллизированного ПСВ. Методом условной минимизации флексиплекс [11] по показателю преломления получено, к примеру, что для отражателей Cu — Cu — Ag ($\lambda = 500$ нм, $n = 1,1322$), Al — Al — Ag ($\lambda = 400$ нм, $n = 2,1598$), Ag — Ag — Au ($\lambda = 650$ нм, $n = 1,6017$) значения максимальной эллиптичности поляризации пучка, выходящего из второго сектора, равны соответственно 0,0037; 0,0085; 0,0092. Лучший из световозвращателей с тремя металлизированными одним металлом гранями (серебром) при таких же λ и n имеет значения 0,0660; 0,3545; 0,0611 соответственно.

Средние коэффициенты отражения металлизированных ПСВ в процентах приведены в таблице. Усреднение проводилось по азимуту поляризации падающего излучения в каждом из шести вариантов отражения, затем определялся средний коэффициент [10]. Сравнение с монометаллизированными ПСВ (первые четыре столбца в таблице) говорит о том, что полиметаллизированные ПСВ незначительно им уступают по коэффициенту отражения.

Металлизированные ПСВ $n = 1,5$

Длина волны, нм	Ag		Al		Au		Cu		Ag		Al		Au		Cu		Al		Au		Cu		Al		Au		Cu		
	Ag	Al	Au	Cu	Al	Au	Al	Cu	Al	Au	Al	Cu	Al	Au	Al	Cu	Al	Au	Al	Cu	Al	Au	Al	Cu	Al	Au	Al	Cu	
400	83	69	3	13	27	43	15	14	78	74	29	9	46	25	25	8	41	23	5	8									
500	92	67	12	18	43	49	27	24	83	74	48	24	55	31	38	21	44	28	14	16									
600	93	63	72	75	75	76	80	70	82	72	86	79	87	80	66	69	67	71	73	74									
700	94	57	87	86	78	77	89	75	80	67	92	89	91	89	66	76	65	75	86	86									
800	95	51	89	88	75	75	90	74	77	62	93	91	92	90	61	74	61	74	88	88									
900	95	53	90	89	77	77	91	75	79	64	93	92	93	91	63	76	63	75	90	90									
1000	95	68	91	91	84	84	92	83	85	76	94	92	94	92	75	83	75	83	91	91									

Полученные в работе закономерности преобразования поляризации прямоугольными световозвращателями, металлизированными несколькими металлами, могут быть использованы при решении задач синтеза отражаемого в обратном направлении излучения.

Список литературы

1. Ханов Б. Ю. Оптические отражатели тетраэдрического типа в активных системах. Мн., 1982.
2. Бондаренко И. Д. Принципы построения фотоэлектрических автоколлиматоров. Мн., 1984.
3. Коротаев В. В., Панков Э. Д. // ОМП. 1981. № 1. С. 9.
4. Корнеев В. И. // ОМП. 1985. № 12. С. 6.

5. Процко С. В., Титов А. Д. // ОМП. 1989. № 11. С. 14.
6. Барковский Л. М., Борздов А. Н., Борздов Г. Н., Камач Ю. Э., Овчинников В. М. // ОМП. 1985. № 6. С. 23.
7. Титов А. Д. // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 1. 1991. № 1. С. 15.
8. Золотарев В. М., Морозов В. Н., Смирнова Е. В. Оптические постоянные природных и технических сред. Л., 1984.
9. Процко С. В., Титов А. Д. // ОМП. 1990. № 6. С. 32.
10. Процко С. В., Титов А. Д. // ОМП. 1991. № 2. С. 13.
11. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. М., 1975.

Поступила в редакцию 20.05.91.

УДК 621.382.2.08.323(088.8)

А. Д. АНДРЕЕВ, В. М. БОРЗДОВ, В. М. ДИТКОВСКИЙ

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИМЕСЕЙ В МОП-ПТ

Для количественной оценки времени наработки на отказ кремниевых полевых транзисторов с изолированным затвором (МОП-ПТ), согласно методике, изложенной в [1], необходимо точное знание концентрации примесных атомов в области полупроводника, где сформирован инверсионный слой. Малые размеры МОП-ПТ на кристалле интегральной схемы (ИС) затрудняют применение метода вольтфарадных кривых из-за его низкой чувствительности (при измерениях требуется затвор сравнительно большой площади), который в этих условиях обладает удовлетворительной точностью лишь при уровне легирования кремния, не превышающем 10^{24} м^{-3} [2].

В данной работе описано устройство, с помощью которого уровень легирования вблизи окисленной поверхности кремния [3—6] может быть измерен непосредственно в интегральной схеме, при этом не требуется дополнительно изготавливать специальную тестовую структуру. Для определения концентрации примесей используется метод измерения крутизны по затвору и подложке при постоянном токе в канале транзистора [6]. В основу разработки функциональной схемы устройства положено свойство индуцированного перехода изменять инверсионный заряд при подаче напряжения на затвор или подложку. Разработанная схема позволяет использовать полевой транзистор ИС для измерения концентрации примеси в высоколегированных областях ИС. Максимальное значение измеряемой концентрации в этом случае составляет 10^{25} м^{-3} [7].

Если изменять напряжение на затворе (V_g), то изгиб энергетических зон на границе кремний — окисел изменяется таким образом, что уровень Ферми собственного полупроводника проходит в запрещенной зоне расстояние, равное значению удвоенного потенциала в нейтральном объеме полупроводника, что соответствует условию сильной инверсии. При увеличении напряжения на подложке (V_n) величина тока в канале транзистора уменьшается из-за роста заряда акцепторов и ухода части инверсионных электронов из канала. В режиме постоянного тока в канале, поддерживаемого соответствующими изменениями напряжений V_g и V_n при малых значениях напряжения исток-сток, имеет место следующее соотношение [6]:

$$\frac{dV_g}{dV_n} = -\frac{1}{2} \left(\frac{2e\epsilon_s N}{C_0^2} \right)^{1/2} (2\phi_f + V_n)^{1/2},$$

где ϕ_f — потенциал в нейтральном объеме полупроводника; C_0 — удельная емкость окисла; e — заряд электрона; ϵ_s — диэлектрическая проницаемость кремния; N — концентрация примеси в подложке. Входящий в формулу потенциал $\phi_f = 0,35 \text{ В}$ для кремниевых подложек при абсолютной температуре 300 К , $10^{26} > N > 10^{16} \text{ м}^{-3}$ и $0,7 \text{ В} > \phi_f > 0$ [8]. Величина C_0 может быть рассчитана, если известны геометрические параметры структуры. Таким образом, концентрация примеси однозначно