

ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОТОПРОВОДИМОСТИ И ФОТОМАГНИТНОГО ЭФФЕКТА В КРИСТАЛЛАХ $Mn_xHg_{1-x}Te$ С АНОДНО-ОКИСЛЕННЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ

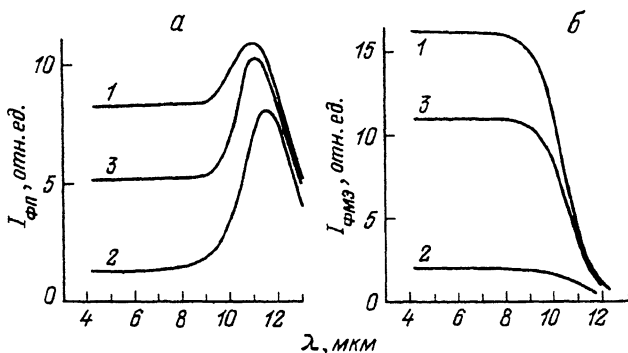
Гасан-заде С. Г., Жадько И. П., Зинченко Э. А., Каленик В. И.,
Раренко И. М., Романов В. А., Шепельский Г. А.

Исследуются электрические и фотоэлектрические свойства кристаллов $Mn_xHg_{1-x}Te$ ($x = 0.09 \div 0.12$) в зависимости от зарядового состояния анодного окисла, нанесенного на поверхность образца. Основное внимание уделено эффекту влияния коротковолновой подсветки (КВ) на параметры приповерхностных слоев полупроводника. Индуцируемое КВ подсветкой новое состояние границы раздела окисел—полупроводник при низких температурах ($T \leq 80$ К) сохраняется в течение длительного времени и вызывает существенные изменения характеристик фотопроводимости и фотомагнитного эффекта. Характер влияния КВ подсветки на приповерхностные свойства кристаллов $Mn_xHg_{1-x}Te$ позволяет предположить, что ответственные за зарядовое состояние окисла дефекты либо являются амфотерными, либо представляют собой дефекты донорного и акцепторного типа, концентрация которых зависит от параметра состава x полупроводника.

Тройное полупроводниковое соединение $Mn_xHg_{1-x}Te$ по целому ряду электрофизических свойств оказывается близким к широко применяемому на практике $Cd_xHg_{1-x}Te$ и представляется перспективным материалом ИК фотоэлектроники. Параметры фотоэлектрических приборов, как известно, в значительной степени определяются состоянием поверхности полупроводникового элемента. Поэтому проблемам пассивации поверхности и изучению свойств анодных окислов и приповерхностных слоев в $Cd_xHg_{1-x}Te$ посвящено большое количество работ. Недавно было показано, что зарядовое состояние окисла и, следовательно, приповерхностный электростатический потенциал в $Cd_xHg_{1-x}Te$ могут управляться с помощью ультрафиолетовой подсветки, результатом воздействия которой является перезарядка электронных ловушек окисла. Что касается соединения $Mn_xHg_{1-x}Te$, то число таких работ весьма ограничено.

В настоящей работе исследуются электрические и фотоэлектрические свойства кристаллов $Mn_xHg_{1-x}Te$ ($x = 0.09 \div 0.12$) в зависимости от зарядового состояния анодного окисла (АО), нанесенного на поверхность образца. Основное внимание уделено эффекту влияния коротковолновой (КВ) подсветки на параметры приповерхностных слоев полупроводника. Индуцируемое КВ подсветкой новое состояние границы раздела окисел—полупроводник при низких температурах ($T \leq 80$ К) сохраняется в течение длительного времени и вызывает существенные изменения характеристик фотопроводимости (ФП) и фотомагнитного эффекта (ФМЭ). Далее приводятся краткое описание и обсуждение обнаруженных закономерностей.

1. Исследовались в основном образцы p -типа проводимости с исходной концентрацией активных примесей $(0.5 \div 70) \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ и размерами: $l_x = 8 \div 10$, $l_y = 1$, $l_z = 2$ мм. После стандартной процедуры механической обработки и глубокого химического травления образцов окисные пленки толщиной ~ 700 Å формировались на одной из xz -поверхностей в водноэтиленгликолевом электролите на основе гидроокиси калия [1]. Токовые контакты наносились на торцевые уз-границы, а потенциальные (для холловских измерений) — на $xу$ -поверхности.



Спектральные характеристики фотопроводимости (а) и фотомангнитного эффекта (б).
Образец 3. Поверхность: 1 — исходная, 2 — окисленная, 3 — окисленная и обработанная КВ излучением.

Все измерения проводились при 80 К в такой последовательности. Сначала при возбуждении со стороны окисленной поверхности снимались спектральные характеристики (СХ) ФП и ФМЭ в отсутствие какой-либо подсветки, при этом на части образцов указанные измерения проводились и до окисления соответствующих поверхностей. Затем окисленная поверхность в течение нескольких минут подвергалась воздействию КВ излучения, источником которого служила лампа накаливания с фильтром, прозрачным для длин волн $\lambda \leq 0.6$ мкм. Такая КВ подсветка приводит к новому состоянию приповерхностной области полупроводника, о чем, в частности, свидетельствует рост его сопротивления, достигающий в некоторых случаях 10% исходной величины. После перевода образца в новое состояние, сохраняющееся при 80 К в течение многих часов, проводились повторные измерения СХ ФП и ФМЭ. Наряду с этим в указанной последовательности измерялись также удельная электропроводность σ и постоянная Холла R_H для каждого из образцов.

2. На рисунке приведены спектральные зависимости ФП (а) и ФМЭ (б) для одного из образцов, полученные при возбуждении одной и той же поверхности до нанесения окисла, после ее окисления и после предварительной обработки окисленной поверхности КВ излучением (кривые 1—3 соответственно). Видно, что анодное окисление поверхности приводит к сильному падению величин ФП и ФМЭ практически во всем спектральном диапазоне, причем высокие исходные значения фотоэлектрических параметров частично могут быть восстановлены с помощью КВ подсветки, что непосредственно вытекает из последовательного сравнения зависимостей 1—3.

Основные результаты измерений, выполненных на серии образцов, представлены в таблице. Здесь для каждого исследованного образца приведены: 1) ширина запрещенной зоны E_g , определяемая из длинноволновой границы ФП; 2) параметр состава соединения x , определяемый из соотношения $E_g(x, T) = -0.253 + 3.446x + 4.9 \cdot 10^{-4}T - 2.55 \cdot 10^{-3}xT$ [2] при $T = 80$ К; 3) эффективные значения холловской подвижности $|R_H| \sigma$ и концентрации $1/eR_H$ носителей тока, определяемые из измерений электропроводности σ и постоянной Холла R_H при двух значениях напряженности магнитного поля H (1 и 5 кЭ); 4) значения эффективных подвижностей неосновных носителей тока $\mu_{\text{ин}}$, определяемые из полевых зависимостей ФМЭ (см., например, [3]); 5) эффективные значения безразмерных скоростей поверхностной рекомбинации S , определяемых из анализа СХ ФП ($S = s \frac{L}{D}$, где s — эффективное значение скорости поверхностной рекомбинации, L и D — соответственно длина диффузионного смещения и коэффициент биполярной диффузии

№ образца	x	E _{г.} [*] , мэВ	1/e R _H , 10 ⁻¹⁵ см ⁻³		R _H σ, см ² /В · с		μ _{нн} [*] , 10 ⁴ см ² /В · с	Исходная поверхность		Поверхность с АО до КВ подсветки		Поверхность с АО после КВ подсветки		k
			H = 1 кЭ	H = 5 кЭ	H = 1 кЭ	H = 5 кЭ		S	I _{ФМ} × (1+S) отн. ед.	S	I _{ФМ} × (1+S) отн. ед.	S	I _{ФМ} × (1+S) отн. ед.	
8	0.098	103	-2.4	-5	660	320	3.7	0.18	490	0.68	261	0.33	510	2.5
3	0.095	095	5.3	4.5	380	460	5.4	0.25	220	5	120	1	220	5.5
5-1	0.095	095	-11	-1.1	4500	440	9.1	0.37	247	0.88	203	0.55	240	2.2
1	0.094	092	-3.2	-2.5	1200	160	1.2	0.06	372	1.33	156	0.41	368	4
11	0.110	143	6.3	6.5	260	250	3.8			1.06	130	0.75	145	1.3
14-1	0.110	143	48	32	140	210	3			0.14	50	0.14	50	1
14-11	0.119	170	0.73	-1.2	603	365	2.3			0.1	113	0.1	113	1
10	0.113	153	5.2	5.2	330	328	3.3			0.8	117	0.8	135	1.15
16	0.105	125	-1.5	-2.1	6.2 · 10 ⁴	4.6 · 10 ⁴							180	1

носителей тока); б) относительные величины фотоманнитного тока короткого замыкания $I_{ФМ}^0$ в области насыщения на СХ ФМЭ, отнесенные к случаю $S=0$ [для исследованных нами толстых образцов $I_{ФМ}^0 = I_{ФМ} (1+S)$, где $I_{ФМ}$ — реально измеряемая величина фотоманнитного тока]; 7) значения отношений $k = I_{ФМ}^0 / I_{ФМ}^{ПП}$, где $I_{ФМ}^{ПП}$ и $I_{ФМ}^0$ — соответственно величины фотоманнитных токов в области насыщения до и после КВ подсветки окисленной поверхности. Отметим также, что приведенные в таблице значения $1/e R_H$, $|R_H|σ$, $μ_{нн}^*$ получены на образцах с окисленной поверхностью до ее обработки КВ излучением.

3. При интерпретации полученных результатов будем исходить из предположения, что анодный окисел на поверхности наиболее узкозонных кристаллов ($x \leq 0.1$) содержит большой положительный заряд, который под воздействием КВ подсветки может сильно уменьшаться, т. е. аналогично тому, как это имеет место в окисленных образцах $Cd_{1-x}Hg_xTe$ при подобных экспериментах [4-6]. Это предположение подтверждается всей совокупностью данных, приведенных в таблице. Действительно, для первых четырех образцов фотоэлектрические характеристики сильно изменяются ($k > 2$) в результате воздействия КВ излучения. Из сопоставления значений $1/e R_H$ и $|R_H|σ$, полученных при различных H , а также сравнения величин $|R_H|σ$ и $μ_{нн}^*$ следует, что объем указанных образцов характеризуется проводимостью p-типа, а приповерхностные области, граничащие с окислом, имеют инверсионный или по крайней мере сильный истожающий изгиб зон. Такой характер приповерхностного изгиба зон не противоречит резкому увеличению S при переходе поверхности от исходного состояния к окисленному и согласуется с тем фактом,

что величины $I_{ФМ} (1+S)$, полученные на исходных и окисленных образцах до их возбуждения КВ подсветкой, не совпадают между собой — в первом случае их значения, как правило, существенно больше, чем во втором (см. таблицу). Последнее связано с некорректным (заниженным) значением S , определяемым из СХ ФП в условиях эффективного разделения неравновесных носителей на приповерхностном потенциале инверсионного (или сильно истожающего) изгиба зон. КВ подсветка, вызывая сильное уменьшение заряда в окисле, в конечном итоге приводит к спрямлению зон у поверхностей; поэтому условия, при которых определяются S в данной ситуации, следует считать адекватными

условиям на неокисленной поверхности образцов, что полностью подтверждается совпадением (в пределах ошибок измерений) величин $I_{\text{ФМ}}(1+S)$ в этих двух случаях (см. таблицу).

Влияние КВ подсветки на состояние границы раздела окисел— $\text{Mn}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ сильно ослабляется с ростом параметра состава x ; уже для образцов с $x > 0.11$ ($E_g > 0.14$ эВ) это влияние, как видно из таблицы, практически не наблюдается. Анализ приведенных в таблице данных указывает, кроме того, на концентрационную зависимость влияния КВ подсветки: при прочих равных условиях влияние тем больше, чем выше концентрация равновесных дырок в объеме образца. В частности, из приведенных в таблице результатов измерений для образца 16 видно, что в кристаллах n -типа проводимости влияние КВ подсветки исчезает при заметно меньших значениях параметра x , чем в случае образцов p -типа.

Описанный выше характер влияния КВ подсветки на приповерхностные свойства кристаллов $\text{Mn}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ позволяет предположить, что ответственные за зарядовое состояние окисла дефекты либо являются амфотерными, либо представляют собой дефекты двух типов (доноры и акцепторы), концентрация которых зависит от параметра состава x полупроводника. Этот вывод согласуется с результатами работ [1, 7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Ланская О. Г., Калёник В. И., Лиленко Е. П. // Матер. Всес. семинара по проблеме «Примеси и дефекты в узкозонных полупроводниках». Павлодар, 1989. Ч. 1. С. 32—36.
- [2] Rogalski A. // *Infr. Phys.* 1991. V. 31. N 2. P. 112—166.
- [3] Равич Ю. И. Фотомагнитный эффект в полупроводниках и его применение. М., 1967. 95 с.
- [4] Schoolan R. B., Janousek B. K., Alt R. L., Carscallen R. C., Daughtery M. J., Fote A. A. // *J. Vac. Sci. Techn.* 1982. V. 21. N 1. P. 164—167.
- [5] Nasir F., Singleton J., Nicholas R. J. // *Semicond. Sci. Techn.* 1988. V. 3. N 7. P. 654—663.
- [6] Гасан-заде С. Г., Жадько И. П., Зинченко Э. А., Фридрих Е. С., Шепельский Г. А. // *ФТП.* 1991. Т. 25. В. 5. С. 871—875.
- [7] Белых А. М., Романов О. В., Семенов Н. Н., Каленик В. И. // Матер. Всес. семинара по проблеме «Примеси и дефекты в узкозонных полупроводниках». Павлодар, 1989. Ч. 1. С. 20—22.

Институт полупроводников
АН Украины
Киев

Получена 18.12.1991
Принята к печати 30.01.1992