

## The investigation of properties of interfaces of HgCdTe/AOF and HgCdTe/SiO<sub>2</sub>—Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>

A. V. Voitsekhovskiy, S. N. Nesmelov, S. M. Dzyadukh

Siberian Physical-Technical Institute, Tomsk, Russia

V. S. Varavin, S. A. Dvoretzky, N. N. Mikhailov, Yu. G. Sidorov, V. V. Vasiliev,

T. I. Zakharyash, Yu. P. Mashukov

Institute of Semiconductor Physics, Novosibirsk, Russia

*The properties of boundaries between HgCdTe and double-layer insulator SiO<sub>2</sub>/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> and also anodic oxide were experimental investigated used by MIS-structures in base of hetero-epitaxial MCT created by molecular-beam epitaxy. It is shown that double-layer insulator SiO<sub>2</sub>/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> is convenient for passivation of surface of matrix photodiodes because of possibilities of control of charges in insulators and at boundary.*

УДК 621.315.592

## Релаксация электрических свойств эпитаксиальных слоев Cd<sub>x</sub>Hg<sub>1-x</sub>Te:As(Sb), конвертированных в *n*-тип ионным травлением

И. И. Ижнин

НИИ материалов «Научно-производственное предприятие "Карат"», г. Львов, Украина

В. В. Богобояцкий

Кременчугский государственный политехнический университет, г. Кременчуг, Украина

А. П. Власов

Львовский национальный университет им. И. Франко, г. Львов, Украина

К. Д. Мынбаев

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе, С.-Петербург, Россия

М. Поцяк

Институт физики, Жешувский университет, г. Жешув, Польша

*Исследована релаксация электрических свойств легированных As и Sb эпитаксиальных слоев HgCdTe, подвергнутых ионному травлению (ИТ). Показано, что образованные при ИТ донорные комплексы, ответственные за конверсию типа проводимости материала из исходного *p*-типа в *n*-тип, являются нестабильными. Установлено, что процессом, ответственным за релаксацию, является распад донорных комплексов, начинающийся после окончания процесса ИТ и вызванный уменьшением концентрации атомов междоузельной ртути, образующихся при ИТ.*

### Введение

Ионное травление узкощелевых твердых растворов *p*-Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te (КРТ) используется в технологии ИК-фотоприемников на основе этого материала как метод формирования *p-n*-переходов [1, 2]. Метод основан на эффекте образования толстого (толщиной до нескольких сотен микрометров, в зависимости от режима ИТ и параметров материала) слоя *n*-типа проводимости в результате ИТ КРТ *p*-типа. Впервые этот эффект наблюдался в вакансионно-легированном КРТ [3], однако в последнее время — и в материале, легированном акцепторами I и V групп периодической системы (Cu, Au, As, Sb) [4—7].

Особый интерес представляет изучение конверсии в КРТ, легированном мышьяком, поскольку As является на сегодняшний день самой распространенной акцепторной примесью в КРТ благодаря низкому коэффициенту диффузии [8]. О вызванной ИТ конверсии типа проводимости в HgCdTe:As впервые сообщалось в работе [4]; подробно этот эффект изучался в работах [9—13]. Сегодня считается общепринятым, что эта конверсия происходит из-за образования донорных комплексов, состоящих из атомов мышьяка в подрешетке халькогена As<sub>Te</sub>, и междоузельных атомов ртути Hg<sub>i</sub>, образующихся при ИТ [9—11, 14, 15]. Уже имеются сообщения о формировании ИТ *p-n*-пере-

ходов при изготовлении фотоприемников на основе HgCdTe:As [15].

В последнее время было установлено, что электрические характеристики слоев *n*-типа проводимости, конвертированных при ИТ вакансионно-легированного КРТ, нестабильны и изменяются при хранении образцов даже при комнатных температурах [14]. Авторы работы [14] предположили, что такая нестабильность обусловлена распадом донорных комплексов, сформировавшихся при ИТ и содержащих атомы неконтролируемой акцепторной примеси (например, As). В [16] это предположение было подтверждено экспериментально уже для образцов, специально легированных As.

Следует отметить, что все проведенные до сих пор исследования свойств конвертированных ИТ-слоев в легированном As или Sb КРТ проводились без учета процессов релаксации, неоднородности электрических свойств конвертированных слоев по толщине и зависимости самой толщины от состава твердого раствора. В настоящей работе сообщается о результатах исследований релаксации электрических параметров конвертированных ИТ-слоев HgCdTe:As и HgCdTe:Sb, проведенных с учетом этих особенностей.

### Эксперимент

Для исследований в работе были использованы монокристаллические варизонные эпитаксиальные слои *p*-HgCdTe толщиной до 100 мкм, автолегированные As(Sb) и полученные методом "испарение-конденсация-диффузия" (ИКД) на подложках CdTe:As и CdTe:Sb (111), соответственно [17]. После роста слои отжигались *in-situ* при  $T = 300$  °С в парах ртути для минимизации концентрации вакансий.

Ионное травление ионами  $Ag^+$  проводили на установке ИВ-3 (ЕИКО, Япония) при энергии ионов  $E = 500$  эВ и типичных для ИТ значениях величины плотности тока ионов  $j$  и продолжительности процесса  $t$  (табл. 1). Во время ИТ температуру образцов поддерживали равной  $\sim 293$  К водяным охлаждением рабочего столика.

Для исследования релаксации электрических свойств образцов после ИТ их подвергали изотермическому (при температуре  $293 \pm 3$  К) и изохронному отжигам на воздухе. Изохронный отжиг проводили в диапазоне температур 20–140 °С с шагом 20 °С и продолжительностью каждой стадии 30 мин.

Электрические свойства образцов изучали путем измерения полевых зависимостей коэффициента Холла  $R_H$  и проводимости  $\sigma$  в магнитном поле 0,01–1,5 Тл при 77 К. Анализ зависимостей проводили методом дискретного анализа спектров подвижности (DMSA) [7]. Для определения глубины конверсии  $d_j$  измеряли полевые зависимости интегральных  $R_H$  и  $\sigma$  при послойном химическом травлении.

### Результаты

Исходные образцы при 77 К характеризовались *p*-типом проводимости. После ИТ интегральные значения  $R_H$  были отрицательными во всем интервале исследованных магнитных полей, что свидетельствовало об образовании слоя *n*-типа проводимости определенной толщины.

Результаты исследований релаксации электрических параметров конвертированных ионным травлением слоев *n*-типа в типичных образцах HgCdTe:As и HgCdTe:Sb при комнатной температуре представлены на рис. 1. Видно, что в обоих образцах с течением времени наблюдалось существенное изменение значений интегрального  $R_H$  и  $\sigma$ , при этом в образце HgCdTe:Sb указанные величины релаксировали быстрее.

Таблица 1

Параметры эпитаксиальных слоев КРТ

Образец	Примесь	Значение $x$	Конц. при мечи $\cdot 10^{-16}$ , $см^{-3}$	$j$ , $мА \cdot см^{-2}$	$t$ , мин	До ИТ (77 К)		После ИТ (77 К)		
						$p \cdot 10^{16}$ , $см^{-3}$	$\mu_p$ , $см^2/(В \cdot с)$	$d_j$ , мкм	$n$ (сразу после ИТ) $\cdot 10^{-15}$ , $см^{-3}$	$n$ (после релаксации) $\cdot 10^{-15}$ , $см^{-3}$
B1-1	As	0,22	$2 \pm 1$	0,1	5	1,9	410	10	16	2
B1-2	As	0,22	$2 \pm 1$	0,15	10	2,9	170	16	30	2,5
B1-4	As	0,22	$2 \pm 1$	0,15	10	3,1	270	16	40	2
B2-1	Sb	0,18	$7 \pm 3$	0,15	5	1,8	630	21	3	1,5
B2-2	Sb	0,18	$7 \pm 3$	0,1	10	1,8	550	23	3	1,5

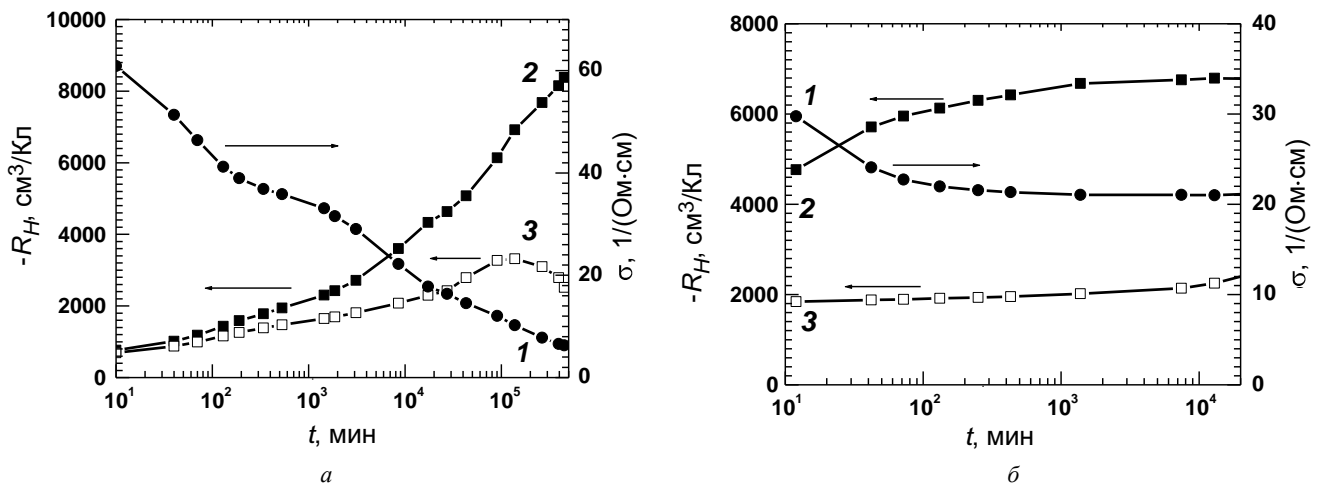


Рис. 1. Релаксация интегральных значений проводимости (1) и коэффициента Холла (2 – в поле 0,05 Т; 3 – 1,0 Т), измеренная при 77 К для конвертированных в *n*-тип образцов В1–4 (а) и В2–2 (б) при изотермическом отжиге

Вид полевых зависимостей интегрального  $R_H$  свидетельствовал о наличии в конвертированных слоях *n*-типа электронов с высокой и низкой подвижностью, т. е. об образовании структуры с нарушенным  $n^+$ -слоем и основным *n*-слоем, типичной для ИТ КРТ [18]. Этот вывод был также подтвержден при анализе спектров подвижности образцов, выполненном методом DMSA (рис. 2). В спектрах подвижности образцов после ИТ доминировали пики электронов с высокой и низкой подвижностью. Концентрации  $n$  и подвижности  $\mu_n$  электронов, полученные с помощью DMSA на основании результатов измерений, проведенных в процессе изотермического отжига, приведены на рис. 3 и 4. Исходя из величин подвижности (см. рис. 3), можно предположить, что электроны с высокой подвижностью соответствуют электронам основного объема *n*-слоя, а с низкой подвижно-

стью — электронам нарушенного  $n^+$ -слоя. Таким образом, эти носители расположены в физически разных подслоях конвертированного слоя.

Отметим, что измеренные величины  $\mu_n$  в основном объеме конвертированного *n*-слоя типичны для КРТ соответствующих состава и концентрации примесей.

Из рис. 4 видно, что в процессе изотермической выдержки концентрация электронов основного объема конвертированного слоя экспоненциально уменьшается. Законы временной релаксации  $n$  для обоих типов образцов отвечали реакциям первого порядка и имели три (для HgCdTe:As) и два (для HgCdTe:Sb) экспоненциальных участка спада с разными характеристическими временами:

$$n = N_1 \exp(-t/\tau_1) + N_2 \exp(-t/\tau_2) + N_3 \exp(-t/\tau_3) + N_0.$$

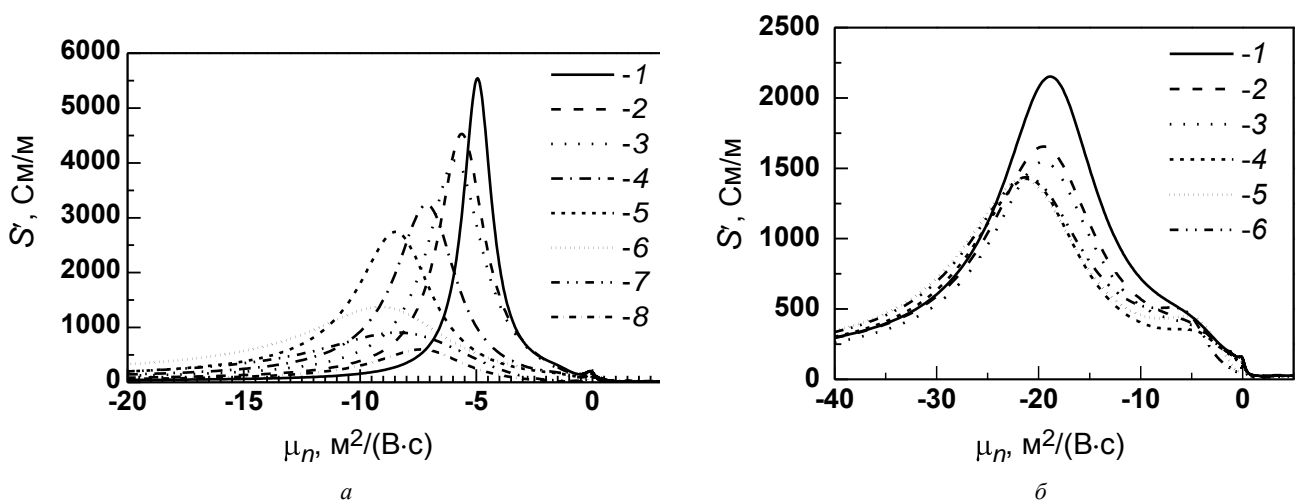


Рис. 2. Огибающие спектров подвижности для образцов В1–4 (а) и В2–2 (б), измеренные после ИТ и выдержки при 293 К в течение:

а — 10 (1), 40 (2), 70 (3), 340 (4), 1870 (5), 17370 (6), 90660 (7) и 269410 (8) мин;  
 б — 12 (1), 42 (2), 72 (3), 7450 (4), 73520 (5) и 357150 (6) мин

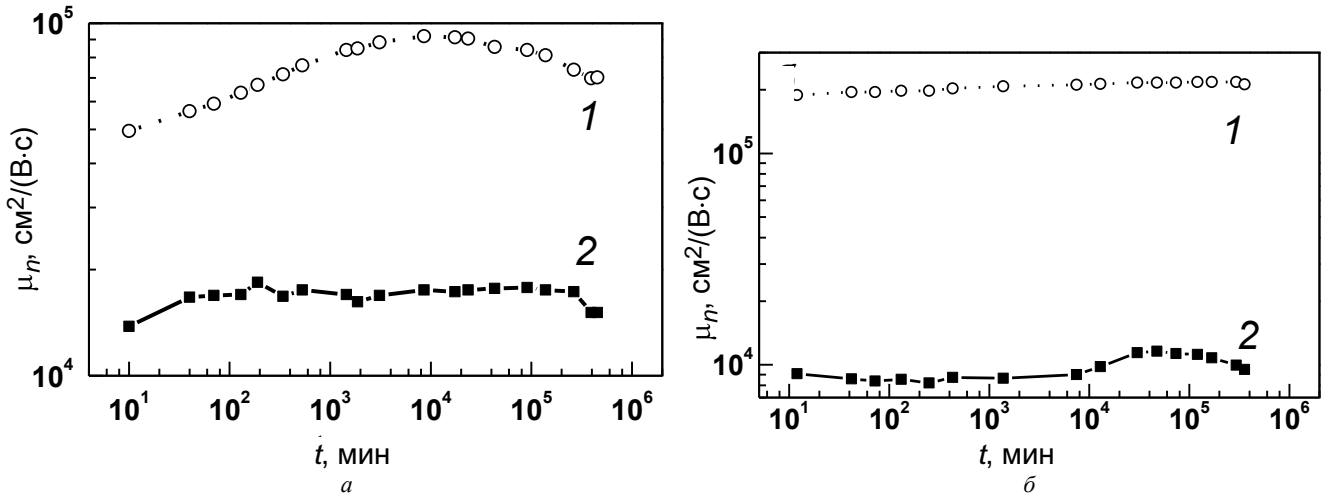


Рис. 3. Зависимости подвижности электронов образцов В1-4 (а) и В2-2 (б) от времени изотермической выдержки при 293 К: 1 — электроны с высокой подвижностью; 2 — электроны с низкой подвижностью

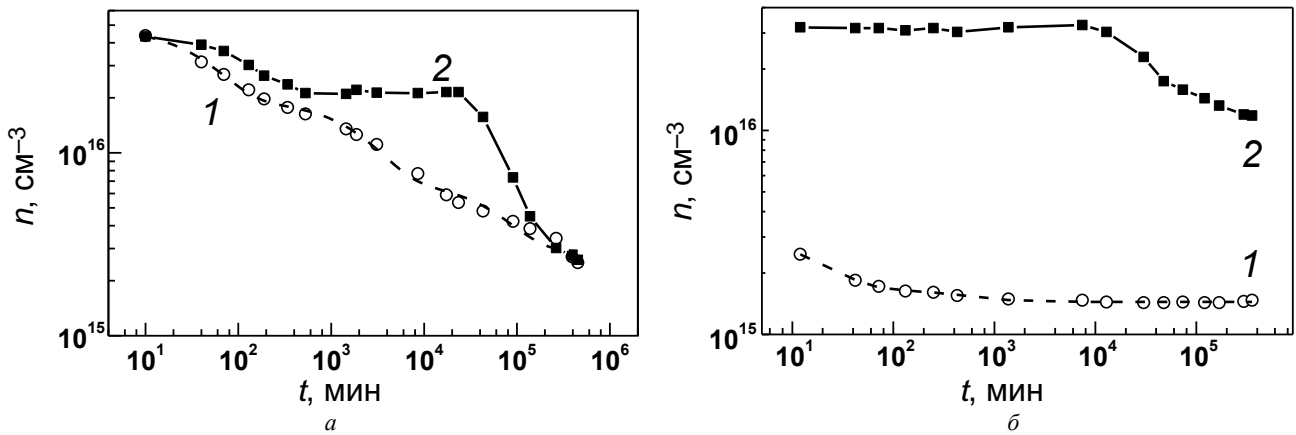


Рис. 4. Зависимости концентрации электронов образцов В1-4 (а) и В2-2 (б) от времени изотермической выдержки при 293 К: 1 — электроны с высокой подвижностью; 2 — электроны с низкой подвижностью.

На кривых 1: о — экспериментальные данные, - - - — подгоночные кривые; на 2 — линии соединяют экспериментальные точки

Параметры релаксационных кривых, полученные подгонкой экспериментальных зависимостей, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры подгоночных кривых концентрации в основном объеме конвертированного слоя

Образец	Концентрация · 10 <sup>15</sup> , см <sup>-3</sup>				Характеристические времена, мин		
	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>0</sub>	τ <sub>1</sub>	τ <sub>2</sub>	τ <sub>3</sub>
В1-4 (n)	3	1,2	4,2	3	50	2500	70 000
В2-2 (n)	1,4	2,4	—	1,4	20	650	—

Из табл. 2 видно, что характеристические времена релаксации для HgCdTe:Sb значительно меньше, чем для HgCdTe:As. Это свидетельствует о том, что в первом случае донорные центры, образованные при ИТ и отвечающие за n-тип проводимости в основном объеме конвертируемого

n-слоя, значительно менее стабильны. Об этом говорит и то, что концентрация электронов уже в начальный момент после ИТ в HgCdTe:Sb (3 · 10<sup>15</sup> см<sup>-3</sup>) была значительно ниже, чем концентрация дырок в исходных образцах.

Законы релаксации концентрации электронов нарушенного n<sup>+</sup>-слоя с течением времени для легированных As- или Sb-образцов были более сложными. Характерным для релаксационных кривых здесь было наличие участков резкого уменьшения концентрации электронов после выдержки  $t_d \sim 10\ 000$  мин (см. рис. 4). Это обстоятельство, по-видимому, указывает на наличие общего механизма релаксации для обоих образцов, не связанного с типом примеси. Заметим, что величина  $t_d$  хорошо согласуется со временем релаксации образовавшихся в результате ИТ дислокационных петель междуузельного типа (~2—3 нед.), наблюдавшейся в работе [19].

В процессе изохронного отжига концентрации электронов основного объема конвертированного *n*-слоя и нарушенного *n*<sup>+</sup>-слоя продолжали уменьшаться, что свидетельствовало о продолжении релаксации созданных ИТ донорных центров.

Релаксационные кривые изохронного отжига описывались экспоненциальным законом вида  $n(t) = n_0 \exp(-t/\tau)$ , где  $\tau = \tau_0 \cdot \exp[E_a/(k_B T)]$ . Значения параметров  $n_0$ ,  $\tau_0$  и  $E_a$  для основного объема конвертированного слоя составили  $2,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ,  $7 \cdot 10^{-7} \text{ с}$  и  $0,746 \text{ эВ}$ , соответственно. Для нарушенного слоя эти величины были равны  $2,6 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ,  $7 \cdot 10^{-7} \text{ с}$  и  $0,790 \text{ эВ}$ .

### Обсуждение результатов

Наблюдаемая экспериментально релаксация электрических свойств подвергнутых ИТ образцов HgCdTe:As(Sb) свидетельствует о том, что донорные комплексы, образовавшиеся при ИТ, являются метастабильными. Это подтверждает справедливость предложенного ранее механизма вызванной ИТ конверсии в легированном КРТ путем образованием донорных комплексов. Условие образования таких комплексов было получено в работе [9]:

$$[D] = \frac{[Hg_j]}{[Hg_j] + K_X} [X]_{\Sigma}, \quad (1)$$

где  $[D]$  — концентрация комплексов;

$[Hg_j]$  — концентрация атомов междоузельной ртути;

$[X]_{\Sigma}$  — общее количество акцепторной примеси, введенной в кристалл (связанной в комплексы, и в виде одиночных центров замещения  $X'_{Te}$ );

$K_X = K_0 \exp(-\Delta H_{cX}/k_B T)$  — константа равновесия;

$K_0 \approx N_0$  — число узлов в подрешетке металла;

$\Delta H_{cX}$  — теплота образования комплекса;

$k_B$  — постоянная Больцмана.

Из выражения (1) вытекает, что при  $[Hg_j] \ll K_X$  в кристалле преобладают изолированные центры замещения  $X'_{Te}$ , тогда как при  $[Hg_j] \gg K_X$  — их донорные комплексы  $D$ . При этом доминирующее состояние акцепторной примеси определяется теплотой реакции образования комплекса  $\Delta H_{cX}$ . Оценки, сделанные в работе [9], показали, что в типичных условиях ИТ при комнатной температуре акцепторная примесь  $X'_{Te}$  должна находиться преимущественно в виде донорных комплексов  $D$  при  $\Delta H_{cX} > 0,6 \text{ эВ}$ . Величины  $\Delta H_{cX}$  были оценены

для HgCdTe:As и HgCdTe:Sb как  $1 \pm 0,1$  и  $0,8 \pm 0,2 \text{ эВ}$ , соответственно [9, 10], что означает высокую вероятность образования комплексов в использованных условиях ИТ.

После прекращения ИТ концентрация неравновесных атомов  $Hg_j$  в конвертируемом слое быстро уменьшается вследствие их диффузии к поверхности (характеристическое время такого процесса  $d_j^2/D_I$  составляет  $\approx 10 \text{ с}$  при глубине конверсии  $10 \text{ мкм}$ , где  $D_I$  — коэффициент диффузии атомов  $Hg_j$ ). Поэтому после уменьшения концентрации ртути до уровня, который отвечает условию  $[Hg_j] \ll K_X$ , в соответствии с (1) донорные комплексы будут распадаться, и в равновесии будут доминировать простые центры замещения  $X'_{Te}$ . Кинетика распада донорных комплексов должна отвечать химико-кинетическому уравнению первого порядка, решением которого является экспоненциальный закон уменьшения концентрации центров с постоянной времени:

$$\tau = \frac{1}{k_X K_X} = \frac{1}{k_{0X} N_0} \exp\left(\frac{E_{aX} + \Delta H_{cX}}{k_B T_0}\right),$$

где  $k_X$  — константа скорости реакции образования (распада) комплекса, которая записывается в следующем виде [20]:

$$k_X = k_{0X} \exp(-E_{aX}/k_B T),$$

где  $k_{0X} = 4\pi r(D_I + D_A) = 4\pi r_X D_I$ ;

$D_A$  — коэффициент диффузии акцепторной примеси, который для As и Sb данных примесей можно считать малым ( $D_A = 0$ );

$E_{aX}$  — потенциальный барьер, препятствующий образованию (разрыву) химической связи в комплексе;

$r_X$  — радиус захвата, который для противоположно заряженных центров  $r_X \approx r_D$ , где  $r_D$  — радиус экранирования. При комнатной температуре  $D_I \sim 10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}$ ,  $r \sim 10^{-6} \text{ см}$ , таким образом  $k_0 \sim 6 \cdot 10^9 \text{ см}^3/\text{с}$ .

Оценки показывают, что при  $300 \text{ К}$  и  $E_a = 0,2 \text{ эВ}$  для  $\Delta H_{cAs} = 1 \text{ эВ}$  и  $\Delta H_{cSb} = 0,8 \text{ эВ}$  время распада равняется  $\tau \sim 3 \cdot 10^5 \text{ мин}$  и  $\tau \sim 150 \text{ мин}$  — для легированного As или Sb КРТ, соответственно. При  $T = 500 \text{ К}$  времена распада становятся чрезвычайно малыми. Нетрудно видеть, что полученные оценки времен релаксации даже при приближенных значениях  $E_a$  и  $\Delta H_{cX}$ , дают неплохое согласование с экспериментом.

Таким образом, релаксацию концентрации электронов в конвертированном слое после ИТ

можно связать именно с распадом донорных комплексов. При этом существенно меньшая стабильность таких комплексов в материале, легированном Sb, объясняется скорее всего близостью  $\Delta H_{cSb}$  к критической величине  $\Delta H_{cX} = 0,6$  эВ, что обуславливает и несоответствие концентраций электронов и акцепторов в исходном материале сразу же после окончания процесса ИТ. Тем не менее такой механизм релаксации должен был бы привести к полной реконверсии конвертированного  $n$ -слоя в  $p$ -тип и восстановлению в нем исходной концентрации дырок, чего не наблюдалось в эксперименте даже после хранения образцов в течение полутора лет. В связи с этим можно предположить, что в реальности процесс релаксации протекает более сложным путем (на это указывает, в том числе, и наличие нескольких экспоненциальных участков на кривых релаксации).

С одной стороны, из табл. 1 видно, что концентрация электронов основного слоя после релаксации ( $\sim 10^{15}$  см<sup>-3</sup>) и в HgCdTe:As, и в HgCdTe:Sb независимо от значения  $[D]$ , измеренного сразу после ИТ, имеет тот же порядок величины, что и концентрация остаточных доноров в КРТ, выращенных методом ИКД [17, 21]. В связи с этим можно предположить, что распад донорных комплексов при комнатной температуре происходит до тех пор, пока их концентрация не сравнивается с концентрацией образующихся при распаде одиночных центров замещения  $X'_{Te}$ . В условиях установившегося затем равновесия донорные комплексы  $D$  и одиночные центры замещения  $X'_{Te}$  взаимно компенсируют друг друга, так что электрические свойства кристалла определяются остаточными донорами. При повышении температуры (как это имеет место при изохронном отжиге) равновесие смещается в сторону центров  $X'_{Te}$ , и происходит дальнейшая релаксация донорных центров.

С другой стороны, авторами работы [14] было высказано предположение о том, что распад донорных комплексов, образовавшихся в КРТ в результате ИТ, может происходить через образование нейтральных комплексов. Однако авторы работы [14] предполагали, что такие нейтральные комплексы состоят из центров замещения  $X'_{Te}$  и однократно заряженных атомов междоузельной ртути. Поскольку в действительности атомы междоузельной ртути в рассматриваемых условиях заряжены двукратно, образование нейтральных комплексов требует предположения о наличии в кристалле существенной концентрации ( $\sim 10^{16}$  см<sup>-3</sup>)

однократно заряженных донорных дефектов. Такими дефектами могут быть центры  $X'_{Hg}$  или  $Te'_{Hg}$ ; на это обстоятельство, в частности, указывают и данные табл. 1, свидетельствующие о том, что часть атомов Sb в рассматриваемых образцах после выращивания была электрически нейтральной (например, связана в пары  $Sb'_{Hg} - Sb'_{Te}$ ). Очевидно, что для установления точного механизма распада донорных комплексов требуются дополнительные исследования.

### Заключение

Рассмотрена релаксация электрических параметров эпитаксиальных слоев HgCdTe:As и HgCdTe:Sb (111), конвертированных ионным травлением в  $n$ -тип проводимости. Показано, что образованные при ионном травлении донорные комплексы, ответственные за конверсию типа проводимости из исходного  $p$ -типа в  $n$ -тип, являются нестабильными. Концентрация таких комплексов в кристалле изменяется с течением времени при хранении образцов уже при комнатной температуре. Установлено, что этот процесс обусловлен распадом донорных комплексов, начинающимся после окончания процесса ИТ и вызванным уменьшением концентрации атомов междоузельной ртути, образующихся при ИТ.

Релаксация свойств слоев приводит к тому, что концентрация нескомпенсированных доноров в них оказывается на уровне  $\sim 10^{15}$  см<sup>-3</sup>. Процесс распада донорных центров может быть ускорен увеличением температуры отжига. Полученные результаты следует учитывать при разработке фотоприемников на основе HgCdTe, создаваемых на основе материала, легированного элементами V группы, с использованием метода ионного травления, а также при проведении исследований свойств конвертированных слоев.

### Литература

1. Rogalski A.//Rep. Prog. Phys. 2005. V. 68. № 10. P. 2267.
2. Пономаренко В. П.//УФН. 2003. Т. 173. № 6. С. 649.
3. Wotherspoon J. T. M.//UK Patent G B 2095898. 1981.
4. Siliquini J. F., Dell J. M., Musca C. A., Faraone L., Piotrowski J.//J. Cryst. Growth. 1998. V. 184/185. № 1—4. P. 1219.
5. Antoszewski J., Musca C. A., Dell J. M., Faraone L.//J. Electron Mater. 2000. V. 29. № 6. P. 837.
6. Izhnin I. I., Bogoboyashchyy V. V., Berchenko N. N., Yudenkov V. A.//J. Alloys Comp. 2003. V. 371. № 1—2. P. 122.
7. Bogoboyashchyy V. V., Elizarov A. I., Izhnin I. I.//Semicond. Sci. Technol. 2005. V. 20. № 8. P. 726.

8. Мынбаев К. Д., Иванов-Омский В. И.//ФТП. 2006. Т. 40. № 1. С. 3.
9. Богобоящий В. В., Власов А. П., Изжин И. И.//Известия вузов. Сер. Физика. 2001. Т. 44. № 1. С. 50.
10. Berchenko N. N., Bogoboyashchiy V. V., Izhnin I. I., Vlasov A. P.//Phys. Stat. Sol. (b). 2002. V. 229. № 1. P. 279.
11. Berchenko N. N., Bogoboyashchiy V. V., Vlasov A. P., Izhnin I. I., Ilyina Yu. S.//Surface Coatings Technol. 2002. V. 158/159. P. 732.
12. Siliquini J. F., Dell J. M., Musca C. A., Smith E. P. G., Faraone L., Piotrowski J.//Appl. Phys. Lett. 1998. V. 72. № 1. P. 52.
13. Smith E. P. G., Siliquini J. F., Musca C. A., Antoszewski J., Dell J. M., Faraone L., Piotrowski J.//J. Appl. Phys. 1998. V. 83. № 10. P. 5555.
14. Belas E., Grill R., Franc J., Moravec P., Varghová R., Höschl P., Sitter H., Toth A. L.//J. Cryst. Growth. 2001. V. 224. № 1—2. P. 52.
15. Chandra D., Schaake H. F., Kinch M. A., Dreiske P. D., Teherani T., Aqariden F., Weirauch D. F., Shih H. D.//J. Electron. Mater. 2005. V. 34. № 7. P. 864.
16. Belas E., Bogoboyashchyy V. V., Grill R., Izhnin I. I., Vlasov A. P., Yudenkov V. A.//Ibid. 2003. V. 32. № 7. P. 698.
17. Vlasov A., Pysarevsky V., Storchun O., Shevchenko A., Bonchuk A., Pokhmurska H., Barcz A., Swiantek Z.//Thin Solid Films. 2002. V. 403—404. № 1. P. 144.
18. Мынбаев К. Д., Иванов-Омский В. И.//ФТП. 2003. Т. 37. № 10. С. 1153.
19. Lunn M. A., Dobson P. S.//J. Cryst. Growth. 1985. V. 73. № 2. P. 379.
20. Крегер Ф. Химия несовершенных кристаллов. — М.: Мир, 1969.
21. Savitsky V. G., Storchun O. P.//Thin Solid Films. 1998. V. 317. № 1. P. 105.

Статья поступила в редакцию 11 октября 2006 г.

## Relaxation of electrical properties of epitaxial $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ : As(Sb) layers converted into $n$ -type by ion milling

*I. I. Izhnin*

R&D Institute for Materials SRC "Carat", Lviv, Ukraine

*V. V. Bogoboyashchy*

Kremenchuk State Polytechnical University, Kremenchuk, Ukraine

*A. P. Vlasov*

I. Franko Lviv National University, Lviv, Ukraine

*K. D. Mynbaev*

A. F. Ioffe Physico-Technical Institute of RAS, St.-Petersburg, Russia

*M. Pociask*

Institute of Physics, Rzeszów University, Rzeszów, Poland

***Results on the studies of the relaxation of electrical properties of As- and Sb-doped HgCdTe epitaxial layers, which were converted into  $n$ -type by ion milling (IM), are presented. It is demonstrated that donor complexes formed under IM, are not stable, and their concentration decreases upon storage even at the room temperature. It was found that the process responsible for the relaxation was disintegration of the complexes that started after the end of the IM and was caused by the decrease in concentration of interstitial mercury atoms, generated by IM.***