

- структурно-организованные системы. Новосибирск: Наука, 1991. 138 с.
2. Индутный И.З., Костышин М.Т., Касярум О.П. и др. Фотостимулированные взаимодействия в структурах металл - полупроводник. Киев: Наукова думка, 1992. 240 с.
  3. Акимов И.А., Черкасов Ю.А., Черкашин М.И. Сенсibilизированный фотоэффект. М.: Наука, 1980. 384 с.
  4. Стриха В.И., Бузанева Е.В. // Физические основы надежности контактов металл-полупроводник в интегральной электронике. М.: Радио и связь, 1987. 254 с.
  5. Халманн М. // Энергетические ресурсы сквозь призму фотохимии и фотокатализа. М.: Мир, 1986. 578 с.
  6. Суrowой Э.П., Бугерко Л.Н., Расматова С.В. // Журн. физ. химии. 2006. Т. 80. № 7. С. 1308-1313.
  7. Surovoi E.P., Borisova N.V. // Journ. of Phys. Chemistry, 2009, V. 83, № 13, P. 2302-2307.
  8. Суrowой Э.П., Борисова Н.В. // Журн. физ. химии. 2010. Т. 84. № 2. С. 307.-313
  9. Третьяков Ю.Д. Химия нестехиометрических окислов. М.: Изд-во Московского ун-та, 1974. 364 с.
  10. Лазарев В.Б., Соболев В.В., Шаплыгин И.С. Химические и физические свойства простых оксидов металлов. М.: Наука, 1983. 239 с.
  11. Васько А.Т. Электрохимия молибдена и вольфрама. Киев: Наукова думка, 1977. 172 с.
  12. Лусис А.Р., Клявинь Я.К., Клеперис Я.Я. // Электрохимия. 1982. Т. 18. № 11. С. 1538-1541.
  13. Гуревич Ю.Я. Твердые электролиты. М.: Наука, 1986. 176 с.
  14. Лусис А.Р., Клеперис Я.Я. // Электрохимия. 1992. Т. 28. Вып. 10. С. 1450-1455.
  15. Вертопрахов В.Н., Сальман Е.Г. Термостимулированные токи в неорганических веществах. Новосибирск: Наука, Сибирское отд-е. 1979. 336 с.
  16. Школьник А.Л. Оптические свойства MoO<sub>3</sub> // Известия АН СССР. Серия «Физика». 1967. Т. 31. № 12. С. 2050-2051.
  17. Tubbs M.R. // Brit. J. Appl. Phys. 1964. V. 15. P. 181-198.
  18. Arnoldussen Thomas C. // J. Electrochem. Sol.: Solid-State Science and Technology. 1976. V. 123. P. 527-531.
  19. Раманс Г.М. Структура и морфология аморфных пленок триоксида вольфрама и молибдена. Рига: ЛГУ им. П.Стучки, 1987. 143 с.
  20. Maosong Tong, Guorui Dai. // J. of Materials Science. 2001. V. 36. P. 2535-2538.
  21. Андреев В.Н., Никитин С.Е. // Физика тв. тела. 2001. Т. 43. № 4. С. 755-758.
  22. Порай - Кошиц М.А., Атовмян Л.О. Кристаллохимия и стереохимия координационных соединений молибдена. М.: Наука, 1974. 232 с.
  23. Yao J.N., Yang Y.A., Loo B.H. // J. Phys. Chem. B. 1998. V. 102. P. 1856-1860.
  24. Гончаров И.Б., Фиалко У.Ф. // Журн. физ. химии. 2002. Т. 76. № 9. С. 1610-1617.

## ФОТОСТИМУЛИРОВАННЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В АЗИДЕ ТАЛЛИЯ

Л.И. Шурыгина, А.И. Мохов, С.М. Сирик

*Предварительная обработка  $TiN_3(A)$  светом ( $\lambda = 365$  нм,  $I > 1 \cdot 10^{14}$  квант·см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>) в вакууме ( $1 \cdot 10^{-5}$  Па) при  $T = 293$  К приводит к появлению новой длинноволновой области спектральной чувствительности. Продукты фотолиза  $TiN_3(A)$  – таллий и азот образуются на поверхности образцов в стехиометрическом соотношении. Определены топография и кинетика накопления фотолитического таллия и оценены эффективные константы скорости фотолиза азиды таллия. В результате измерений контактной разности потенциалов, вольт-амперных характеристик, фото-ЭДС, фототока установлено, что при фотолизе азиды таллия формируются микрогетерогенные системы  $TiN_3(A) - Ti$  (продукт фотолиза). Предложена модель фотолиза  $TiN_3(A)$ , включающая стадии генерации, рекомбинации и перераспределения неравновесных носителей заряда в контактном поле, образования конечных продуктов фотолиза.*

*Ключевые слова:* азид таллия, фотолиз, микрогетеросистемы.

### ВВЕДЕНИЕ

Систематические исследования автокаталитического и сенсibilизирующего влияния твердофазных продуктов на фотолиз неорганических азидов [1-4], а также параллельное изучение фотолиза и электрофизических свойств искусственно сформированных систем «азид – металл» [5-14] позволили существенно продвинуться в направлении понимания механизма фотолиза неорганиче-

ских азидов при глубоких степенях превращения.

В настоящем сообщении представлены результаты исследований кинетических и спектральных закономерностей фотолиза азиды таллия.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Азид таллия марки А ( $TiN_3(A)$ ) [1, 2, 10] синтезировали методом двухструйной кри-

сталлизации: в 0,2 н водный раствор нитрата таллия (квалификации х.ч.) по каплям приливали 0,2 н водный раствор дважды перекристаллизованного технического азиды натрия (скорость сливания 2 капли в секунду,  $\tau_{\text{синтеза}} = 30$  минут,  $T = 293$  К,  $pH = 3$ ). Образцы для исследований готовили прессованием таблеток  $TiN_3(A)$  массой 150 мг при давлении  $1 \cdot 10^3$  кг·см<sup>-2</sup>, либо путем тщательного диспергирования в 98 % этиловом спирте навесок  $TiN_3(A)$  массой 150 мг, последующего равномерного нанесения (методом полива) в чашечки диаметром 1 см и сушили в эксикаторе в темноте при  $T = 293$  К [1, 2, 10]. Измерения скорости фотолиза ( $V_{\phi}$ ), фототока ( $i_{\phi}$ ) и фотоЭДС ( $U_{\phi}$ ) образцов проводили в вакууме ( $1 \cdot 10^{-5}$  Па). Источниками света служили ртутная (ДРТ-250) и ксеноновая (ДКсШ-1000) лампы. Для выделения требуемого участка спектра применяли монохроматор МСД-1 и набор светофильтров. Актинометрию источников света проводили с помощью радиационного термоэлемента РТ-0589. В качестве датчика при измерении  $V_{\phi}$  использовали лампу РМО-4С омегастронного масс-спектрометра ИПДО-1, настроенного на частоту регистрации азота [11]. Измерения  $i_{\phi}$  и  $U_{\phi}$  проводили на установке, включающей электрометрический вольтметр В7-30 либо электрометр TR-1501 [12]. Спектры диффузного отражения (ДО) до и после облучения образцов измеряли на спектрофотометре СФ-4А с приставкой ПДО-1 при давлении  $P \sim 10^4$  Па при давлении 101,3 кПа на спектрофотометре Spесord-M40 с приставкой на отражение  $8^{\circ}d$  [13]. Контактную разность потенциалов (КРП) между азидом таллия, таллием и электродом сравнения из платины измеряли, используя модифицированный метод Кельвина [14]. Топографию твердофазных продуктов фотолиза азиды таллия изучали методом угольных реплик на электронном микроскопе УЭМВ-1000.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате анализа кинетических закономерностей фотолиза и фототока азиды таллия разных методов синтеза в зависимости от спектрального состава (350-1000 нм) и интенсивности ( $I = 1 \cdot 10^{13} - 1 \cdot 10^{16}$  квант·см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>) падающего света было установлено, что азид таллия независимо от метода его приготовления проявляет общие кинетические закономерности. При облучении образцов светом  $\lambda = 365$  нм в области интенсивного освещения ( $I > 1 \cdot 10^{14}$  квант·см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>) при  $T = 293$  К на кинетических кривых  $V_{\phi}$  можно выделить не-

сколько участков: начальный (I), стационарный (II), возрастания (III), насыщения (IV) и спада (V) (рисунок 1, кривая 1). Снижение интенсивности падающего света приводит к уменьшению  $V_{\phi}$ , а также к увеличению продолжительности участков кинетических кривых.

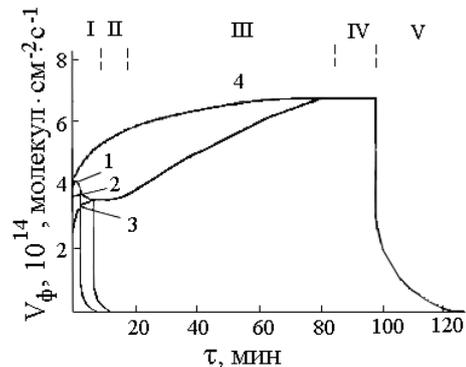


Рисунок 1. Кинетические кривые скорости фотолиза ( $V_{\phi}$ )  $TiN_3(A)$  при  $\lambda = 365$  нм и интенсивности падающего света  $I = 3,17 \cdot 10^{14}$  квант·см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup> до (1) и после прерывания освещения на I (2), II (3), IV (4) и участках кинетических кривых  $V_{\phi}$ .

На рисунке 2 (кривая 1) приведены спектральные распределения  $V_{\phi}$  и  $i_{\phi}$ , построенные по стационарным значениям  $V_{\phi}$  и  $i_{\phi}$ . Видно, что длинноволновый край  $V_{\phi}$  и  $i_{\phi}$   $TiN_3(A)$  находится при  $\lambda < 450$  нм. Повторное (после прерывания света на I и II участках) освещение образцов не приводит к заметному изменению  $V_{\phi}$  на II, III, IV участках кинетических кривых  $V_{\phi}$  (рис. 1, кривые 2, 3) и кривых спектрального распределения  $V_{\phi}$  и  $i_{\phi}$ . Предварительное экспонирование образцов в течение 100 мин. приводит к монотонному увеличению  $V_{\phi}$  до постоянных значений (рисунок 1, кривая 4). При этом наряду с увеличением  $V_{\phi}$  и  $i_{\phi}$  в собственной области поглощения  $TiN_3(A)$  на кривых спектрального распределения  $V_{\phi}$  и  $i_{\phi}$ , появляется новая область фоточувствительности, длинноволновый порог которой простирается до 620 нм (рис. 2 кривая 2). Более продолжительное воздействие на образцы света приводит к снижению  $V_{\phi}$ . Наблюдаемое понижение фоточувствительности  $TiN_3(A)$  связано с затемнением поверхности образца твердофазным продуктом фотолиза и, как следствие, с уменьшением числа поглощенных  $TiN_3(A)$  квантов света.

После прекращения экспонирования на разных участках кинетических кривых скорости фотолиза наблюдается участок темного постгазовыделения (ТП) (рисунок 1). Видно, что кривые ТП состоят из двух участков –

## ФОТОСТИМУЛИРОВАННЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В АЗИДЕ ТАЛЛИЯ

«быстрого» и «медленного». По мере увеличения времени экспонирования и интенсивности падающего света продолжительность ТП возрастает. Причем, по мере понижения температуры и интенсивности падающего света уменьшается временной интервал «медленной» составляющей ТП. Установлено, что независимо от интенсивности падающего света и времени предварительного экспонирования кривые ТП спрямляются в координатах  $\ln C_{N_2} = f(\tau)$ . По тангенсу угла наклона зависимости  $\ln C_{N_2} = f(\tau)$  оценили значения констант скорости (k) после прерывания освещения на разных участках кинетических кривых  $V_\Phi$  (таблица 1).

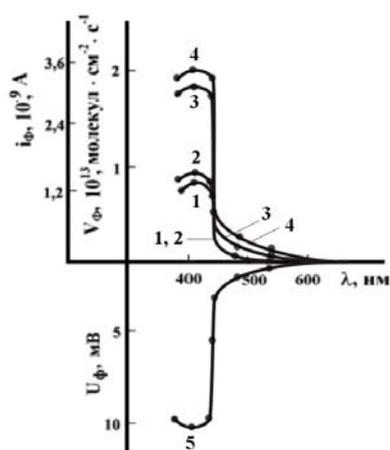


Рисунок 2. Спектральное распределение скорости фотолиза ( $V_\Phi$ ) (1, 3), фототока ( $i_\Phi$ ) (2, 4) и фото-ЭДС ( $U_\Phi$ ) (5) до (1, 2) и после облучения  $TiN_3$  (3, 4, 5) светом  $\lambda = 365$  нм и интенсивности падающего света  $I = 1,0 \cdot 10^{14}$  квант·см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>.

Таблица 1

Константы скорости процесса, ответственно-го за постгазовыделение k, с<sup>-1</sup>

Образец	Участки кинетической кривой $V_\Phi$		
	I	II	IV
$TiN_3(A)$	$(2,16 \pm 0,11) \cdot 10^{-2}$	$(1,60 \pm 0,08) \cdot 10^{-2}$	$(2,70 \pm 0,14) \cdot 10^{-3}$

При изучении топографии твердофазного продукта фотолиза азиды таллия установлено, что при интенсивностях  $I = 4 \cdot 10^{14} - 8 \cdot 10^{15}$  квант·см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup> и временах облучения образцов ( $\lambda = 365$  нм), соответствующих достижению участков I и II кинетической кривой  $V_\Phi$ , на кривых распределения частиц по размерам можно выделить максимумы, свидетельствующие о преимущественном формировании частиц размером 40-60 Å и 100-120 Å сферической формы, а при интенсивностях  $I = 1 \cdot 10^{13} - 1 \cdot 10^{14}$  квант·см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup> формируются частицы размером 100-

120 Å. Установлено, что число частиц на поверхности экспонированного при  $\lambda = 365$  нм и  $I = 3,17 \cdot 10^{14}$  квант·см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup> (участок I кинетической кривой  $V_\Phi$ )  $TiN_3(A)$  составляет  $\approx 10^{11} - 10^{12}$  см<sup>-2</sup>. При увеличении времени облучения азиды таллия до участка III частицы фотолитического таллия достигают размера 0,1-1,2 мкм и приобретают огранку. При больших временах освещения, соответствующих временам достижения участка IV, поверхность образцов практически полностью покрывается фотолитическим металлом.

Длинноволновый край ДО азиды таллия находится при  $\lambda = 440$  нм (рисунок 3).

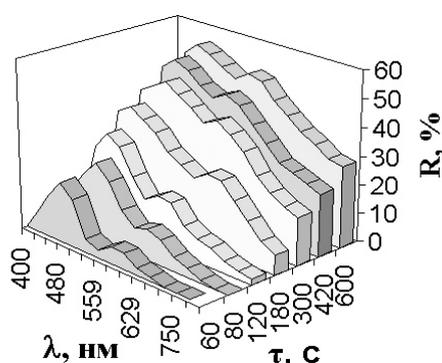


Рисунок 3. Изменение отражательной способности  $TiN_3(A)$  в зависимости от времени облучения светом  $\lambda = 365$  нм и  $I = 3,17 \cdot 10^{14}$  квант·см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>.

Обработка образцов светом  $\lambda = 365$  нм в интервале интенсивностей  $I = 8,56 \cdot 10^{14} - 1,27 \cdot 10^{16}$  квант·см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>, наряду с отсутствием заметных эффектов в собственной области поглощения азиды таллия, приводит к существенному изменению вида спектральных кривых ДО в области  $\lambda \geq 440$  нм. При временах облучения, соответствующих реализации I и II участков на кинетических кривых  $V_\Phi$ , наряду с увеличением ДО в диапазоне 400-800 нм, на спектральных кривых ДО формируются 2 полосы с максимумами в области  $\lambda = 430-500$  нм и  $\lambda = 585$  нм. Дальнейшее увеличение времени световой обработки до участка (III) приводит к уширению полос и смещению максимумов в длинноволновую область спектра.

На рисунке 4 приведены результаты сопоставления изменений отражательной способности (S)  $TiN_3(A)$  при различных временах и интенсивностях облучения ( $\lambda = 365$  нм) с кинетическими кривыми накопления фотолитического таллия ( $N_{Ti}$ ), рассчитанными из кинетических кривых  $V_\Phi$   $TiN_3(A)$  при различных интенсивностях падающего света. Видно, что

наблюдается совпадение кинетических зависимостей изменения  $S$  и  $N_{Ti}$ .

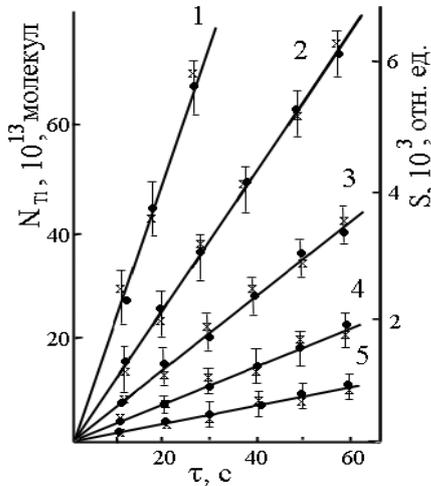


Рисунок 4. Сопоставление количества фотолитического таллия ( $N_{Ti}$ ) и площадей ( $S$ ), соответствующих изменению диффузного отражения  $TiN_3(A)$  в зависимости от интенсивности падающего света,  $\lambda = 365$  нм ( $I$ , квант·см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>): 1, 2,7·10<sup>15</sup> (1); 6,34·10<sup>14</sup> (2); 3,17·10<sup>14</sup> (3); 1,8·10<sup>14</sup> (4); 8·10<sup>13</sup> (5) (• – данные масс-спектрометрии ( $N_{Ti}$ ); × – данные спектрофотометрии ( $S$ )).

В таблице 2 приведены константы скорости фотолиза  $TiN_3(A)$  и накопления частиц таллия с  $d = 40-50$  Å ( $k_2$ ) и  $d = 100-120$  Å ( $k_3$ ), оцененные по тангенсу угла наклона зависимостей  $\ln S = f(\tau)$  и  $\ln C_{Me} = f(\tau)$ .

Полученные в настоящей работе и ранее [2, 7, 10, 14] данные свидетельствуют, прежде всего, о том, что основными продуктами фотолиза  $TiN_3(A)$  в условиях высокого вакуума являются металлический таллий и газообразный азот. Причем, продукты фотолиза  $TiN_3(A)$  образуются в стехиометрическом соотношении и, в основном, на поверхности образцов, а наблюдаемые в результате облучения изменения на спектральных кривых ДО  $TiN_3(A)$  (рис. 3), кинетических кривых и кривых спектрального распределения  $V_\phi$  и  $i_\phi$  обусловлены образованием частиц таллия.

Из анализа вольтамперных характеристик (ВАХ) и результатов измерений КРП было установлено, что в области контакта  $TiN_3(A) - Ti$  (из-за несоответствия между работами выхода из контактирующих партнеров) возникает запирающий электрический слой, контакт  $TiN_3(A) - Ti$  проявляет выпрямляющие свойства. Полярность  $U_\phi$  (рис. 3), оставаясь неизменной по всему спектру, соответствует положительному знаку со стороны азиды таллия, а кривые спектрального распределения  $U_\phi$ ,  $V_\phi$ ,  $i_\phi$  коррелируют друг с другом. Генерация  $U_\phi$  прямо свидетельствует

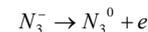
о формировании в процессе фотолиза  $TiN_3(A)$  микрогетерогенных систем  $TiN_3(A) - Ti$ , темновые и фотопроцессы на границе раздела которых обеспечивают увеличение  $V_\phi$  и  $i_\phi$  в собственной области поглощения азиды таллия (рисунки 1, 2), а также появление новой длинноволновой области фоточувствительности (рисунок 2). Фотохимические проявления фотоэлектрических процессов в таких системах могут быть вызваны перераспределением под действием контактного поля генерированных светом носителей заряда [1-14]. Эти процессы приведут к существенным изменениям условий протекания фотолиза у предварительно фоторазложенных препаратов азиды таллия. На рис. 5 приведена диаграмма энергетических зон контакта  $TiN_3(A) - Ti$ , при построении которой использованы результаты измерений КРП, ВАХ, данные по спектральному распределению  $U_\phi$ ,  $V_\phi$  и  $i_\phi$ .

Таблица 2

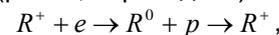
Константы скорости фотолиза  $TiN_3(A)$  и накопления частиц таллия ( $k_2, k_3$ ), рассчитанные по кинетическим кривым скорости фотолиза ( $k_{1\phi}$ ) и спектрам диффузного отражения ( $k_{1ДО}$ )

$I$ , квант· см <sup>-2</sup> ·с <sup>-1</sup> , 10 <sup>15</sup>	$k_{1\phi}$ , × 10 <sup>2</sup> , с <sup>-1</sup>	$k_{1ДО}$ , × 10 <sup>2</sup> , с <sup>-1</sup>	$k_2$ , с <sup>-1</sup> ( $d \approx 40-50$ Å) × 10 <sup>3</sup> , с <sup>-1</sup>	$k_3$ , с <sup>-1</sup> ( $d \approx 100-120$ Å) × 10 <sup>3</sup> , с <sup>-1</sup>
0,86	2,80 ± 0,25	2,70 ± 0,28	1,50 ± 0,15	3,00 ± 0,25
1,60	4,60 ± 0,35	4,50 ± 0,35	2,50 ± 0,20	5,10 ± 0,45
3,17	6,20 ± 0,45	6,00 ± 0,45	3,20 ± 0,30	5,80 ± 0,55
6,34	6,50 ± 0,50	6,40 ± 0,50	3,50 ± 0,30	6,00 ± 0,50
12,70	6,80 ± 0,55	6,50 ± 0,50	3,90 ± 0,40	6,50 ± 0,60

При воздействии света из области собственного поглощения азиды таллия имеет место интенсивная генерация электрон-дырочных пар в азиде таллия (рис. 5, переход 1)



Так как квантовый выход фотолиза, оцененный по начальному участку кинетической кривой  $V_\phi$  (при  $\tau = 60$  с), составляет  $2,7 \cdot 10^{-3}$ , часть генерированных носителей заряда рекомбинирует (рис. 5, переходы 3):



где  $R^+$  – центр рекомбинации, а также перераспределяются в контактном поле, сформированном из-за несоответствия между термоэлектронными работами выхода азиды тал-

## ФОТОСТИМУЛИРОВАННЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В АЗИДЕ ТАЛЛИЯ

лия и фотолитического таллия и наличием собственных поверхностных электронных состояний (СПЭС) [11], с переходом неравновесных электронов из зоны проводимости азидата таллия на уровни СПЭС ( $T_n^+$ ) или непосредственно в металл ( $Tl^+$ ) (рис. 5, переходы 4,5):

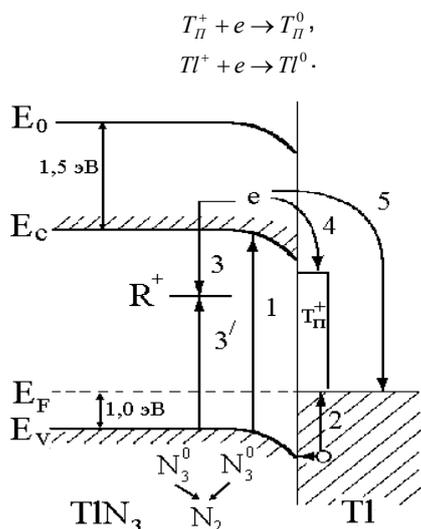
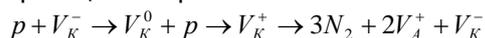


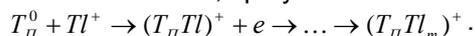
Рисунок 5. Диаграмма энергетических зон гетеросистемы  $TiN_3(A) - Tl$ ,  $E_V$  - уровень потолка валентной зоны,  $E_C$  - уровень дна зоны проводимости,  $E_F$  - уровень Ферми,  $E_0$  - уровень вакуума,  $R^+$  - центр рекомбинации.

Возрастание концентрации дырок в области пространственного заряда азидата таллия приводит к соответствующему увеличению  $i_\phi$  и  $V_\phi$  по принимаемым для фотолиза АТМ реакциям образования азота:

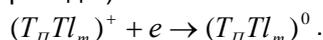


где  $V_A^+$  и  $V_K^-$  - анионная и катионная вакансии.

При фотолизе азидата таллия одновременно с выделением азота образуется и фотолитический таллий, при участии СПЭС:

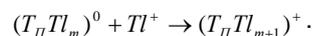


В процессе роста частиц фотолитического таллия формируются микрогетерогенные системы азид таллия - таллий (продукт фотолиза). Генерированные в области пространственного заряда азидата таллия пары носителей перераспределяются в контактном поле с переходом неравновесных электронов из зоны проводимости  $TiN_3(A)$  в металл (рисунки 5, переход 5):



Одновременно имеет место фотоэмиссия дырок из фотолитического таллия в валентную зону азидата таллия (рисунки 5, переход 2). Эти процессы, во-первых, приводят к

возрастанию концентрации дырок и, как следствие, к увеличению  $V_\phi$  (участок III); во-вторых, могут стимулировать диффузию межзельных ионов таллия к растущим частицам:



При воздействии на систему  $TiN_3(A) - Tl$  света из длинноволновой области спектра имеет место фотоэмиссия дырок из металла в валентную зону азидата таллия (рисунки 5, переход 2), что приводит к появлению  $U_\phi$ ,  $V_\phi$  и  $i_\phi$  у предварительно фоторазложенных препаратов в длинноволновой области спектра. Обнаруженные закономерности изменения фотолитическим таллием фоточувствительности азидата таллия в длинноволновой области спектра согласуются с изложенным. Действительно, формируется  $U_\phi$  положительного знака со стороны азидата таллия, энергетическое положение длинноволнового порога  $U_\phi$ ,  $V_\phi$  и  $i_\phi$  для систем  $TiN_3(A) - Tl$  удовлетворительно совпадает с величиной энергетического барьера для перехода дырок из таллия в валентную зону азидата таллия (рисунки 5, переход 2).

*Работа поддержана грантом Президента РФ для поддержки ведущих научных школ ВШШ 00-15-97368.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Суrowой Э.П., Захаров Ю.А., Бугерко и др. // Химия высоких энергий. 1999. Т. 33. № 5. С. 387-390.
2. Суrowой Э.П., Шурыгина Л.И., Бугерко Л.Н. // Хим. физика. 2003. Т. 22. № 9. С. 24-28.
3. Суrowой Э.П., Бугерко Л.Н., Расматова С.В. // Журн. физ. химии. 2004. Т. 78. № 4. С. 663-668.
4. Суrowой Э.П., Сирик С.М., Бугерко Л.Н. // Журн. физ. химии. 2008. Т. 82. № 2. С. 362-367.
5. Суrowой Э.П., Бугерко Л.Н., Расматова С.В. // Журн. физ. химии. 2005. Т. 79. № 6. С. 1124-1128.
6. Суrowой Э.П., Сирик С.М., Бугерко Л.Н. // Хим. физика. 2000. Т. 19. № 8. С. 20-25.
7. Власов А.П., Суrowой Э.П. // Журн. физ. химии. 1991. Т. 65. № 6. С. 1465-1469.
8. Суrowой Э.П., Сирик С.М., Бугерко Л.Н. // Журн. физ. химии. 2000. Т. 74. № 5. С. 927-933.
9. Суrowой Э.П., Бугерко Л.Н., Расматова С.В. // Журн. физ. химии. 2006. Т. 80. № 7. С. 1308-1313.
10. Суrowой Э.П., Шурыгина Л.И., Бугерко Л.Н. // Хим. физика. 2001. Т. 20. № 12. С. 15-22.
11. Суrowой Э.П., Бугерко Л.Н. // Хим. физика. 2002. Т. 21. № 7. С. 74-78.
12. Суrowой Э.П., Бугерко Л.Н., Захаров Ю.А. и др. // Материаловедение. 2002. № 9. С. 27-33.
13. Суrowой Э.П., Сирик С.М., Бугерко Л.Н. // Материаловедение. 2006. № 3. С. 17-24.
14. Суrowой Э.П., И.В. Титов, Бугерко Л.Н. // Материаловедение. 2005. № 7. С. 15-20.