

ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ МЕТОДОВ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ НАУКИ

УДК 538.958

© Батырев А. С., Бисенгалиев Р. А., Сумьянова Е. В., 2019

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ БОМБАДИРОВКИ НА СПЕКТРЫ ФОТОПРОВОДИМОСТИ КРИСТАЛЛОВ CDS

Батырев А. С.^{а,1}, Бисенгалиев Р. А.^{а,2}, Сумьянова Е. В.^{а,3}^а ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет им. Б.Б. Городовикова», г. Элиста, Республика Калмыкия, 358011, Россия

В работе представлены результаты исследований влияния электронной бомбардировки на спектральное распределение фотопроводимости монокристаллов CdS в области края фундаментального поглощения при температуре жидкого азота ($T = 77$ К). Показано, что фоточувствительность кристалла, а также тонкая (экситонная) структура спектров фотопроводимости, формируемая в тонком приповерхностном слое полупроводника, изменяются под воздействием бомбардировки исследуемого образца электронами низких энергий. Проведенные эксперименты показали, что индуцируемая электронной бомбардировкой трансформация спектров фотопроводимости кристаллов CdS связана со стимулированной электронной бомбардировкой десорбцией с поверхности образца кислорода, который создает отрицательный поверхностный заряд. Показано, что воздействие электронной бомбардировки на спектры низкотемпературной фотопроводимости кристаллов 1-ой и 2-ой группы тонкой структуры имеет различный характер. Такое различие связывается с различным составом приповерхностного слоя полупроводников. Кристаллы CdS 1-ой группы, характеризуются наличием в приповерхностном слое избыточных междоузельных атомов кадмия. Эти атомы играют роль мелких доноров и создают на некотором удалении от поверхности полупроводника обогащающий изгиб зон. Вблизи поверхности таких кристаллов существует обедняющий изгиб энергетических зон, обусловленный адсорбированным на поверхности кислородом и формирующий потенциальную яму для дырок.

Ключевые слова: электронная бомбардировка, тонкая структура, спектры фотопроводимости, фоточувствительность.

INFLUENCE OF ELECTRON BOMBARDMENT TO THE PHOTO-CONDUCTIVITY SPECTRA OF CDS CRYSTALS

Batyrev A. S.^{а,1}, Bisengaliev R. A.^{а,2}, Sumyanova E. V.^{а,3}^а FGBOU VO «Kalmyk state University. B. B. Gorodovikova», Elista, Republic of Kalmykia, 358011, Russia

The paper presents the results of studies of the effect of electron bombardment on the spectral distribution of the photoconductivity of CdS single crystals in the region of the fundamental absorption edge at liquid nitrogen temperature ($T = 77$ K). It is shown that the photosensitivity of the crystal, as well as the fine (exciton)

¹E-mail: asbatyrev@mail.ru²E-mail: Task99@mail.ru³E-mail: Sumyanova@yandex.ru

structure of the photoconductivity spectra, which is formed in a thin surface layer of a semiconductor, changes under the influence of the bombardment of the sample by low-energy electrons. Experiments have shown that electron bombardment-induced transformation of the photoconductivity spectra of CdS crystals is associated with stimulated electron bombardment by desorption of oxygen from the surface of the sample, which creates a negative surface charge. It is shown that the effect of electron bombardment on the spectra of a low-temperature photoconductivity of crystals of the 1st and 2nd groups of the fine structure has a different character. Such a difference is associated with a different composition of the surface layer of semiconductors. The CdS crystals of the 1st group are characterized by the presence of excess interstitial cadmium atoms in the surface layer. These atoms play the role of shallow donors and create enriching zones at some distance from the semiconductor surface. Near the surface of such crystals, there exists a depleting bend of energy bands caused by oxygen adsorbed on the surface and forming a potential well for holes.

Keywords: electron bombardment, fine structure, photoconductivity spectra, photosensitivity.

DOI: 10.17238/issn2226-8812.2019.1.67-75

Введение

Изучение влияния бомбардировки поверхности полупроводниковых кристаллов низкоэнергетическими электронами позволяет изучать механизмы формирования поверхностных спектральных характеристик исследуемых материалов. Формирование фотоэлектрических свойств кристаллов CdS выше края фундаментального поглощения происходит в тонком приповерхностном слое полупроводника, в пределах которой также создается генерация экситонных состояний. Изменения в тонкой (экситонной) структуре низкотемпературных спектров фотопроводимости позволяет качественно исследовать влияние различных внешних воздействий. Изучение влияния электронной бомбардировки на низкотемпературные спектры фотопроводимости кристаллов CdS в области края собственного поглощения является важной задачей, решение которой может дать ценную информацию о роли поверхности и приповерхностного слоя полупроводника в формировании тонкой структуры в его спектре фотопроводимости.

1. Цели и задачи исследования

Цель настоящего исследования - выяснение роли приповерхностного слоя пространственного заряда, а также поверхностных и приповерхностных дефектов, включая адсорбированные на поверхности атомы и молекулы, на формирование тонкой структуры спектров низкотемпературной фотопроводимости кристаллов CdS. Задача настоящего исследования - изучение влияния бомбардировки электронами низких энергий (4 кэВ) на фоточувствительность и структуру спектров низкотемпературной ($T = 77$ K) фотопроводимости кристаллов CdS в спектральной области края фундаментального (собственного) поглощения полупроводника.

2. История вопроса

Спектральное распределение фототока в кристаллах сульфида кадмия (CdS) исследовалось в большом числе работ [1]. Было показано, что при низких температурах в спектрах фототока кристаллов CdS в области края собственного поглощения можно наблюдать так называемую тонкую структуру (ТС), которая обусловлена участием экситонов в фотопроводимости (ФП). Были выделены два типа ТС и спектральных кривых ФП в зависимости от соответствия линиям экситонного поглощения максимумов- пиков (1-ый тип) или минимумов- провалов (2-ой тип) фототока.

Была принята спектроскопическая классификация полупроводниковых кристаллов с естественной поверхностью, согласно которой, спектр ФП первого типа, измеренный на постоянном

токе при $T = 77$ К, определяет принадлежность кристалла к первой группе, а спектр ФП второго типа – ко второй группе.

Следует отметить, что, несмотря на большое число работ, посвященных исследованиям ТС в кристаллах CdS и в кристаллах других полупроводников A_2B_6 , механизм ее формирования во многом остается все еще не ясным. Остается не до конца понятной роль в этом поверхности и приповерхностного слоя.

Известно, что электронная бомбардировка (ЭБ) поверхности кристаллов CdS электронами низких энергий существенно изменяет вид ТС спектров ФП [1]. При относительно малых дозах ($\sim 5 \times 10^{14}$ эл/см²) ТС на спектральных кривых исчезает, кривые становятся гладкими, а при больших дозах ($\sim 5 \times 10^{16}$ эл/см²) ТС возникает вновь, причем вновь возникшая структура относится к ТС первого типа вне зависимости от того, к какой группе принадлежал исходный кристалл.

Большинство исследователей связывают возникновение ТС разного типа (кристаллы 1-ой или 2-ой группы) с характером изгиба зон на поверхности. В кристаллах 1-ой группы – это обогащенный слой, в кристаллах 2-ой группы – обедненный слой. В первом случае созданные экситонами вблизи поверхности носители имеют время жизни большее, чем в объеме, что приводит к возникновению пиков фототока на месте экситонных линий. Во втором случае время жизни носителей около поверхности меньше, чем в объеме и на месте экситонных линий возникают минимумы фототока.

Изгиб зон связан, как известно, с адсорбцией на поверхности различных газов и легированием поверхности. Боэр [2] показал, что поверхность «естественных» кристаллов, как правило, легирована кадмием, который выступает в кристаллах CdS как мелкий донор. Известно, что кислород на поверхности кристаллов CdS может адсорбироваться в двух формах – физической и химической. При химической адсорбции кислорода на поверхности кристаллов CdS возникает отрицательный изгиб зон.

ЭБ поверхности кристаллов CdS является эффективным методом удаления с поверхности адсорбированных газов, а при больших дозах может приводить и к заметному росту концентрации радиационных дефектов, возникших из-за действия допорогового механизма их образования. Удаление адсорбированных атомов уменьшает скорость поверхностной рекомбинации и ведет к росту фоточувствительности (ФЧ).

Таким образом, изучение влияния ЭБ на низкотемпературные спектры ФП кристаллов CdS в области края собственного поглощения является важной задачей, решение которой может дать ценную информацию о роли реальной поверхности и приповерхностного слоя полупроводника в формировании ТС в его спектре ФП.

3. Экспериментальные результаты

Исследовались «естественные» кристаллы CdS (кристаллы, не подвергавшиеся каким-либо внешним воздействиям), спектры ФП которых при $T = 77$ К содержали четко выраженную ТС в виде максимумов или минимумов фототока на частотах возбуждения экситонов (кристаллы 1-ой и 2-ой групп, соответственно).

На рис. 1 приведены спектры краевой ФП кристалла CdS 1-ой группы при $T = 77$ К, $E \perp C$ в зависимости от продолжительности (дозы) облучения электронами с энергией 4 кэВ и плотностью потока около 10^{15} эл/(см² × с). Левая часть рисунка (а) соответствует малым дозам ЭБ ($\leq 2 \times 10^{16}$ эл/(см²)), правая часть (б) – умеренным ($2 \times 10^{16} \div 5 \times 10^{17}$ эл/см²) и большим ($> 5 \times 10^{17}$ эл/см²) дозам ЭБ.

Как видно из рис. 1 (а), в области малых доз облучения с ростом дозы ЭБ наблюдается рост ФЧ по всему контуру спектральной кривой ФП. При этом ФЧ наиболее сильно возрастает в длинноволновой («примесной») области спектра, обозначенной ДМ, а также в промежутках между экситонными максимумами. Наблюдаемый при малых дозах ЭБ спектрально-неоднородный рост ФЧ полупроводника приводит к ослаблению ТС в его спектре ФП. При дозе 1.6×10^{16} эл/см²с ТС практически исчезает из спектра (кривая 4 на рис.1 (а)). Дальнейшие изменения в спектре

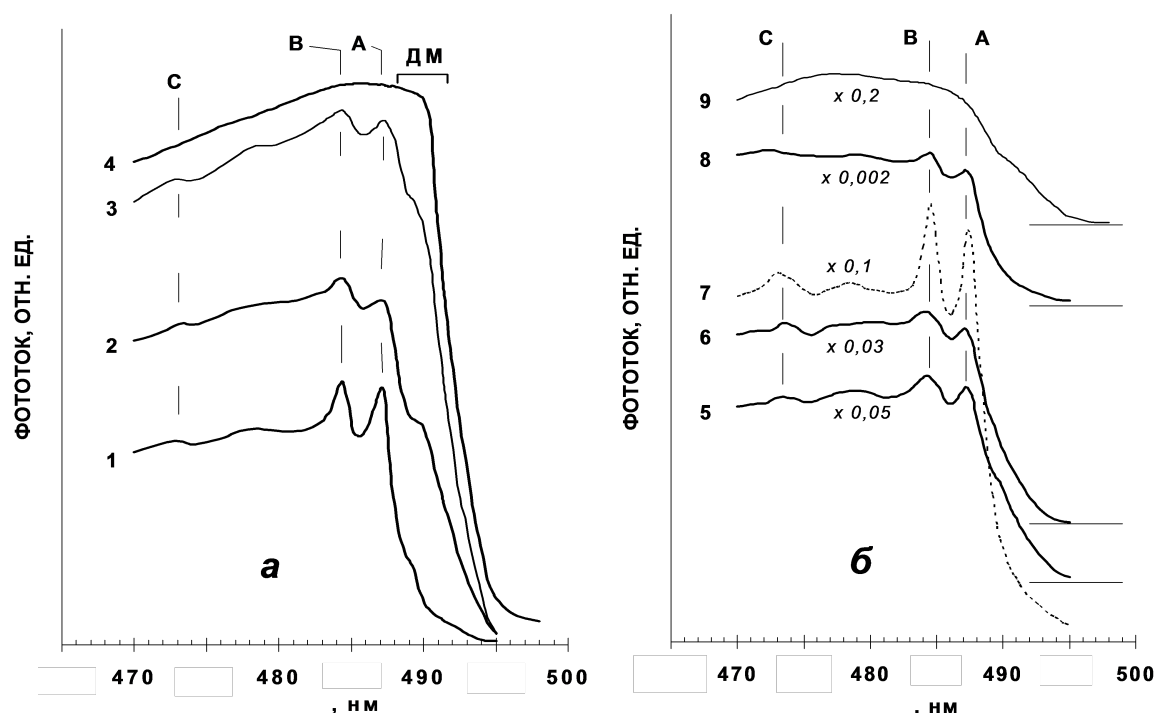


Рис. 1. Спектры ФП кристалла CdS 1-ой группы (образец Г1-1) при $T = 77$ К, $E \perp C$ в зависимости от продолжительности облучения электронами 4 кЭВ в сек (плотность потока $\approx 10^{15}$ эл/см²×с). **а:** 1 – 0 (1.7×10^{10}); 2 – 4 (8.1×10^9); 3 – 8 (2.8×10^9); 4 – 16 (6.0×10^8). **б:** 5 – 50 (2.8×10^8); 6 – 110 (5.7×10^7); 7 – 170 (3.3×10^9); 8 – 530 (5.1×10^6); 9 – 1200 (1.3×10^6). В скобках указаны соответствующие кривым значения темнового сопротивления образца в омах.

и ФЧ наблюдаются при переходе из области малых в область умеренных доз ЭБ. Однако в этом случае спектральная неоднородность изменений ФЧ носит несколько иной характер, по сравнению с наблюдаемым при малых дозах ЭБ. Действительно, на этапе ЭБ, приводящем к трансформации спектральной кривой ФП 4 (а) в спектральную кривую 5 (б), происходит заметный рост ФЧ в коротко-волновой области спектра с некоторым преобладанием эффекта в области экситонных переходов, при этом ФЧ в «примесной» области ДМ изменяется сравнительно слабо. В результате происходит частичное восстановление ТС спектра ФП, утраченной при малых дозах ЭБ. Действительно, на кривой 5 (б) наблюдается ТС в виде слабовыраженных максимумов фототока на частотах возбуждения экситонов.

Описанные спектральные изменения ФП, наблюдаемые при малых дозах ЭБ и на этапе перехода от малодозовой к среднедозовой ЭБ, происходят на фоне сильного (примерно, на $1.5 \div 2$ порядка величины в зависимости от образца) уменьшения темнового сопротивления (роста темновой проводимости σ_T) кристалла по сравнению с его исходным (до ЭБ) значением (см. подрисуночную подпись). На рис.1 (б) уровни темнового тока, соответствующие спектральным кривым ФП 5-9 обозначены горизонтальными отрезками прямой, высоты расположения которых над шкалой длин волн дают качественное представление о характере изменения σ_T в зависимости от дозы ЭБ. Рост ФЧ в коротковолновой области спектра, сопровождаемый существенным ростом темновой проводимости, наблюдается и на следующем этапе среднедозовой ЭБ, приводящем к трансформации кривой 5 (б) в кривую 6 (б). Однако дальнейшая среднедозовая ЭБ (этап 6→7 на рис.1 (б)) приводит к падению ФЧ по спектру и усилению в спектре ТС, которая становится более резкой (кривая 7 (б)). При этом σ_T кристалла уменьшается по сравнению с ее предшествующим значением почти на два порядка величины, а его инерционность значительно. Если подвергнуть такой кристалл облучению до доз, соответствующих области перехода от умеренных к большим дозам

ЭБ, можно вновь наблюдать значительный рост ФЧ и темновой проводимости, сопровождаемые, как и в данном случае, ослаблением в спектре экситонной структуры (кривая 8 на рис.1 (б)). На последующих этапах большедозовой ЭБ эффекты сглаживания ТС и роста σ_T сохраняются, но при этом ФЧ по контуру спектральной кривой ФП сильно падает. В результате после дозы ЭБ порядка 10^{18} эл/см² интегральная ФЧ кристалла уменьшается, примерно на два порядка по сравнению с ее предшествующим значением, σ_T кристалла существенно возрастает, а его спектральная кривая ФП приобретает гладкий (бесструктурный) вид (кривая 9 на рис.1 (б)). В ряде кристаллов CdS 1-ой группы в области экстремально больших доз ЭБ (дозы, существенно превышающие 10^{18} эл/(см²)) наблюдалась практически полная потеря кристаллом ФЧ, при этом σ_T кристалла возрастала на $5 \div 6$ порядков величины относительно исходного (до ЭБ) значения.

ЭБ кристаллов CdS 2-ой группы также приводит к характерным изменениям их спектров ФП. На рис. 2 приведены спектры низкотемпературной краевой ФП кристаллов CdS 2-ой группы в зависимости от продолжительности (дозы) облучения электронами с энергией 4 кэВ. Из рисунка видно, что с ростом дозы ЭБ спектры ФП кристалла испытывают существенные количественные и качественные изменения.

Малодозовая ЭБ приводит к резкому росту ФЧ и ослаблению ТС спектральной кривой ФП.

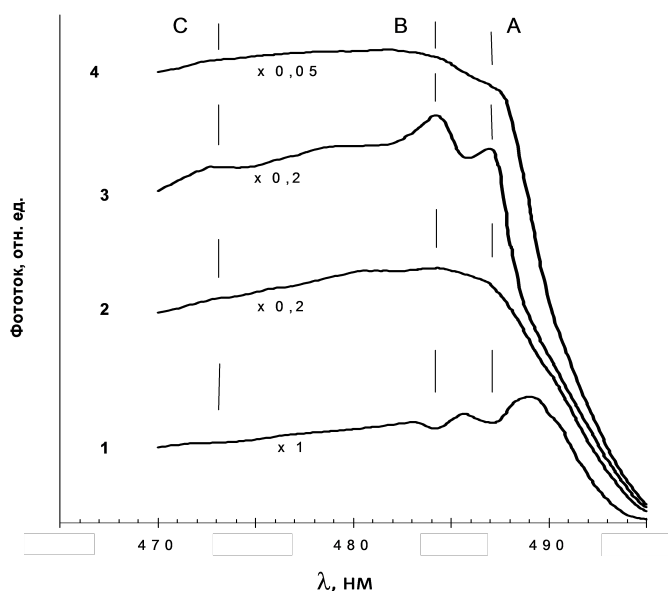


Рис. 2. Спектры фотопроводимости кристалла CdS 2-ой группы при $T = 77$ К, $E \perp C$ в зависимости от продолжительности t облучения электронами 4 кэВ (плотность потока 3×10^{15} эл/см² × с). t : 1 – 0; 2 – 40; 3 – 150; 4 – 760.

На начальных этапах среднедозовой ЭБ наблюдаются сглаживание спектральной кривой ФП (кривая 2), при этом интегральная ФЧ кристалла, пропорциональная площади под спектральной кривой, возрастает более чем на порядок (ср. площади под кривыми 1 и 2). Существенно возрастает также инерционность кристалла.

В результате дальнейшего воздействия ЭБ ТС вновь проявляется в спектре ФП, но уже в форме максимумов фототока на резонансных частотах экситонов (кривая 3). Такая структурная перестройка спектра ФП сопровождается новым заметным ростом ФЧ и инерционности.

После больших доз ЭБ спектральная кривая ФП снова приобретает гладкий (бесструктурный) вид (кривая 4), при этом интегральная ФЧ кристалла существенно уменьшается, а его время фотоответа возрастает по сравнению со значениями, наблюдаемыми на конечных этапах среднедозовой ЭБ.

Наряду с изменением спектральных и фотоэлектрических характеристик последовательная

ЭБ кристалла CdS 2-ой группы приводит также к изменениям его темновой проводимости σ_T . С ростом дозы ЭБ σ_T значительно возрастает. При этом особенно резкие и сильные изменения σ_T наблюдались на начальных этапах облучения: в ряде кристаллов после малых или умеренных доз ЭБ σ_T кристалла возрастала более чем на $3 \div 4$ порядка величины. На последующих этапах ЭБ рост σ_T с дозой ЭБ существенно замедлялся. Следует также отметить, что в ряде кристаллов CdS 2-ой группы, как и в случае кристаллов 1-ой группы, после доз ЭБ, значительно превышающих 10^{18} эл/см², на фоне значительного роста σ_T наблюдалась практически полная потеря ФЧ.

Таким образом, изменение ТС спектров ФП кристаллов 2-ой группы при ЭБ также носят немонотонный характер. При малых или умеренных дозах облучения ($\simeq 10^{17}$ эл/см²) ТС исчезает, затем возникает вновь и при больших дозах ($\simeq 10^{18}$ эл/см²) вновь исчезает. С увеличением дозы облучения происходит существенный рост темновой проводимости σ_T .

4. Механизм влияния ЭБ на ТС спектров краевой ФП кристаллов CdS (обсуждение результатов)

Кристаллы CdS 1-ой группы, энергетическая диаграмма которых схематически изображена на рис. 3, характеризуются наличием в приповерхностном слое избыточных междоузельных атомов кадмия (Cd_i), играющих роль мелких (водородоподобных) доноров и создающих на некотором удалении от поверхности полупроводника обогащающий изгиб зон. Непосредственно вблизи поверхности таких кристаллов существует обедняющий изгиб зон, обусловленный адсорбированным кислородом и формирующий потенциальную яму для дырок – приповерхностный дырочный «карман». Последний способствует сокращению времени жизни неравновесных носителей заряда, генерируемых вблизи поверхности кристалла за счет межзонного и экситонного поглощения света, а также за счет фототермических переходов электронов из валентной зоны в зону проводимости через уровни приповерхностных сверхстехиометрических атомов Cd_i^+ .

Фототермические переходы через уровни Cd_i^+ , распределенные по энергии за счет межцентрового взаимодействия и влияния поверхности, а также переходы между «хвостами» зон в приповерхностном слое с избытком Cd создают фотоактивный фон, на котором проявляется ТС. Величина этого фона зависит от «мощности» дырочного «кармана».

Индукцируемая малодозовой ЭБ трансформация спектров ФП CdS обусловлена стимулированной ЭБ десорбцией с поверхности кристалла кислорода, создающего отрицательный поверхностный заряд, формирующий у поверхности потенциальную яму для дырок - приповерхностный дырочный «карман». Его уменьшение, а затем исчезновение в результате малодозовой ЭБ вызывает рост τ_n вблизи поверхности. В случае кристаллов 1-ой группы это приводит к преобладающему в спектре росту фотоактивного фона, формируемого фототермическими межзонными переходами через уровни избыточных Cd_i , свойственных приповерхностному слою кристаллов CdS 1-ой группы. В результате на конечных этапах малодозовой ЭБ спектры ФП кристаллов CdS 1-ой группы приобретают гладкий вид.

Изменения спектров ФП кристаллов CdS 1-ой группы в области умеренных доз ЭБ обусловлены радиационным дефектообразованием, приводящим к росту концентрации мелких донорных центров типа Cd_i и V_S , а также ассоциацией этих дефектов при их взаимодействии друг с другом с образованием ловушек. При достаточно большой концентрации Cd_i и V_S образуются парные дефекты – ловушки, обладающие более глубокими, чем точечные дефекты, уровнями, на которые «выпадают» электроны проводимости. Образование ловушек на промежуточных этапах среднедозовой ЭБ приводит к уменьшению концентрации мелких донорных центров и, соответственно, к уменьшению фоновой ФЧ и темновой проводимости, при этом время фототока существенно возрастает. С уменьшением фоновой составляющей ФЧ фототок по спектру ФП значительно падает, при этом ТС заметно усиливается в спектре и проявляется в нем в виде доминирующих узких и резких мак-симумов фототока.

Трансформация спектров ФП кристаллов CdS 1-ой группы на конечных этапах среднедозовой

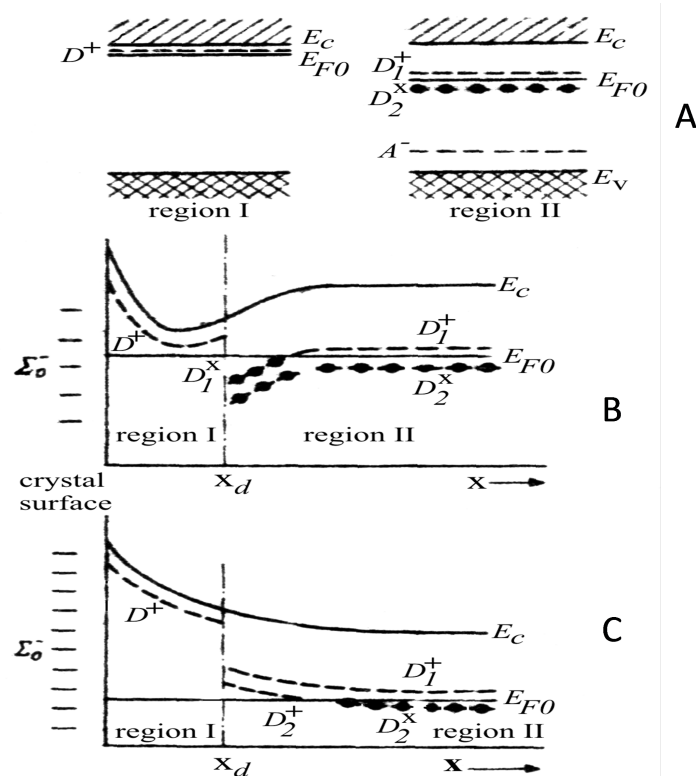


Рис. 3. Энергетические диаграммы кристалла CdS. [2] А. Энергетические диаграммы низкоомного и высокоомного областей кристалла. В, С – энергетические диаграммы кристаллов CdS 1-ой и 2-ой групп, соответственно

ЭБ обусловлена новым ростом концентрации собственно-дефектных донорных центров, что снова приводит к ослаблению ТС за счет роста фоновой ФЧ, а также к росту темновой проводимости полупроводника.

В кристаллах CdS 2-ой группы десорбция кислорода под действием малодозовой ЭБ приводит к уменьшению обедняющего изгиба зон у поверхности и, соответственно, к ослаблению ТС 2-го типа.

В кристаллах CdS 2-ой группы дефектообразование при среднедозовой ЭБ приводит к образованию и росту вблизи поверхности обогащающего изгиба зон. При этом на начальных стадиях этого процесса происходит сглаживание спектра ФП, обусловленное падением эффективной скорости поверхностной рекомбинации до нулевого значения с ростом изгиба зон вблизи поверхности от исходно плоских зон в сторону обогащения. На конечных стадиях процесса, когда обогащающий изгиб зон у поверхности достигает достаточно больших значений, происходит формирование ТС, но уже 1-го типа.

Трансформация спектров ФП кристаллов CdS обеих групп в области больших доз ЭБ обусловлена ростом вблизи поверхности при большедозовой ЭБ концентрации s-центров быстрой рекомбинации – ассоциатов из 3-х и более дефектов типа Cd_i или V_S . Такие центры возникают в результате взаимодействия дефектов при большой их концентрации. Они вызывают падение ФЧ по спектру с преобладанием эффекта в области экситонных резонансов, что приводит к сглаживанию спектров ФП CdS при дозе порядка 10^{18} эл/см².

Заключение

Таким образом, в кристаллах CdS обеих групп индуцируемая ЭБ трансформация спектров ФП в области малых доз обусловлена радиационно-стимулированной десорбцией с поверхности

полупроводника кислорода, а в области умеренных и больших доз - ростом при ЭБ вблизи поверхности концентрации, соответственно, точечных дефектов типа Cd_i и V_S и S-центров быстрой рекомбинации, являющихся ассоциатами последних. В кристаллах CdS обеих групп радиационное дефектообразование и процессы преобразования дефектов при их взаимодействии приводят к формированию в области умеренных и больших доз ЭБ «физической» поверхности, характеризующейся повышенной по сравнению с объемом концентрацией донорных центров, ловушек и центров быстрой рекомбинации. Характеристики этой поверхности определяют форму ТС спектра ФП, которая в силу этого является чувствительным индикатором состояния приповерхностного слоя полупроводника.

Таким образом, детальный анализ экспериментальных данных позволяет полностью объяснить наблюдаемую при ЭБ эволюцию спектров низкотемпературной ФП кристаллов CdS, несмотря на весьма сложный характер воздействия ЭБ на фотоэлектрические свойства полупроводника. Полученные результаты подтверждают плодотворность метода исследования поверхностных свойств полупроводника с помощью его низкотемпературных спектров ФП.

Список литературы

1. Киселев В.А., Новиков Б.В., Чередниченко А.Е. Экситонная спектроскопия приповерхностной области полупроводников. СПб.: Изд. СПбГУ, 2003. 244 с.
2. Bragagnolo J.A., Wright C., Boer K.W. Thermally Stimulated Desorption from Class 1 CdS Crystals and its Effect on Their Electrical Properties. *Phys.Stat.Sol. (a)*; 1974, vol. 24: S. 147–158.

References

1. Kiselev V.A., Novikov B.V., Cherednichenko A.E. Eksitonnyaya spektroskopiya pri poverkhnostnoy oblasti poluprovodnikov. Saint Petersburg: SPbGU Publ., 2003. 244 p. (In Russian)
2. Bragagnolo J.A., Wright C., Boer K.W. Thermally Stimulated Desorption from Class 1 CdS Crystals and its Effect on Their Electrical Properties. *Phys.Stat.Sol. (a)*, 1974, vol. 24, pp.147–158.

Авторы

Батырев Александр Сергеевич, к. ф.-м. н., доцент, ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет им. Б.Б. Городовикова», 5 микрайон, учебный корпус №3 КГУ, г. Элиста, Республика Калмыкия, 358011, Россия.

E-mail: asbatyrev@mail.ru

Бисенгалиев Рустем Александрович, к. ф.-м. н., доцент, ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет им. Б.Б. Городовикова», 5 микрайон, учебный корпус №3 КГУ, г. Элиста, Республика Калмыкия, 358011, Россия.

E-mail: Task99@mail.ru

Сумьянова Елена Владимировна, к. ф.-м. н., доцент, ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет им. Б.Б. Городовикова», 5 микрайон, учебный корпус №3 КГУ, г. Элиста, Республика Калмыкия, 358011, Россия.

E-mail: Sumyanova@yandex.ru

Пробьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Батырев А. С., Бисенгалиев Р. А., Сумьянова Е. В. Влияние электронной бомбардировки на спектры фотопроводимости кристаллов CdS // Пространство, время и фундаментальные взаимодействия. 2019. № 1. С. 67—75.

Authors

Batyrev Alexander Sergeevich, candidate of physical and mathematical Sciences, associate Professor, FGBOU VO "Kalmyk state University. B. B. Gorodovikova", 5 microdistrict, educational building №3 KSU, Elista, Republic of Kalmykia, 358011, Russia.

E-mail: asbatyrev@mail.ru

Bisengaliev Rustem Aleksandrovich, candidate of physical and mathematical Sciences, associate Professor, FGBOU VO "Kalmyk state University. B. B. Gorodovikova", 5 microdistrict, educational building №3 KSU, Elista, Republic of Kalmykia, 358011, Russia.

E-mail: Task99@mail.ru

Sumyanova Elena Vladimirovna, candidate of physical and mathematical Sciences, associate Professor, FGBOU VO "Kalmyk state University. B. B. Gorodovikova", 5 microdistrict, educational building №3 KSU, Elista, Republic of Kalmykia, 358011, Russia.

E-mail: Sumyanova@yandex.ru

Please cite this article in English as:

Batyrev A. S., Bisengaliev R. A., Sumyanova E. V. Influence of electron bombardment to the photoconductivity spectra of CdS crystals. *Space, Time and Fundamental Interactions*, 2019, no. 1, pp. 67–75.