

## Краткие сообщения

05;06;07;11

### Влияние адсорбции на поперечное фотонапряжение в кристаллах иодистого кадмия при рентгеновском возбуждении

© И.М. Матвишин, С.С. Новосад, И.С. Новосад

Львовский национальный университет им. Ивана Франко,  
79000 Львов, Украина

(Поступило в Редакцию 8 января 2004 г. В окончательной редакции 21 мая 2004 г.)

Приведены результаты исследования влияния газов ( $O_2$  и воздуха) на поперечное фотонапряжение (ПФН), возникающее в образцах  $CdI_2$  при рентгеновском возбуждении. Проведенные исследования в вакууме при температуре 295 К показали, что ПФН практически линейно возрастает с увеличением мощности экспозиционной дозы рентгеновского излучения ( $R$ ). Регистрируемая величина ПФН в атмосфере газов имеет противоположное по знаку значение и при увеличении  $R$  больше 200 R/min выходит на насыщение. При откачке газа из системы величина ПФН сначала возрастает и после достижения максимального значения резко ослабляется, изменяет знак и достигает исходного значения для величины ПФН в условиях вакуума. На основании анализа полученных результатов и литературных данных показано, что выявленные особенности влияния газов на ПФН в  $CdI_2$  вызваны рентгеновски стимулированной химической адсорбцией по акцепторному механизму.

К числу наиболее актуальных и мало изученных проблем радиационного материаловедения относятся стимулируемые высокоэнергетическим излучением процессы на границе раздела двух фаз — твердое тело — воздух [1]. Интерес к изучению этих процессов также возрастает в связи с поиском эффективных материалов, пригодных для создания чувствительных элементов для газового анализа [2].

Поперечные фотовольтаические эффекты (ПФВЭ), возникающие в слоистых кристаллах  $CdI_2$  в условиях вакуума при оптическом и рентгеновском облучениях, исследовались в работах [3–5]. В настоящей работе сообщается о результатах исследования влияния газов ( $O_2$  и воздуха) на поперечное фотонапряжение (ПФН) в кристаллах  $CdI_2$  при рентгеновском возбуждении.

Методики изготовления образцов из кристаллов  $CdI_2$ , выращенных методом Бриджмена–Стокбаргера [6], и их исследования были аналогичны методикам, описанным в [3,4]. Измерения проводили в режиме фотонапряжения холостого хода  $U_{id}$  на образцах двух типов, изготовленных в виде параллелепипедов  $\sim 10 \times 8 \times (0.5–6)$  mm таким образом, чтобы угол между нормалью к облучаемой поверхности  $10 \times 8$  mm и кристаллографической осью  $C_6$  составлял 0 и  $45^\circ$ . Электроды из серебряной пасты К-136 наносили на грани  $8 \times (0.5–6)$  mm, перпендикулярные облучаемой поверхности. Образцы с нанесенными омическими контактами помещались в металлический криостат, где проводились измерения при комнатной температуре (295 К) как в вакууме, так и в газовой среде. Возбуждение образцов рентгеновскими лучами осуществлялось с помощью аппарата УРС-55А. Рентгеновская трубка ВСВ-2 с Cu антикатодом работала в режиме  $U = 45$  kV,  $I = 0–12$  mA.

Проведенные измерения в вакууме показали, что величина ПФН в образцах с 0-градусным срезом практически не зависит от их толщины. Генерируемое рентгеновским излучением ПФН в образцах размером  $\sim 10 \times 8 \times 6$  mm первого и второго типа линейно возрастает с увеличением мощности экспозиционной дозы рентгеновского излучения ( $R$ ). Эта зависимость для образца с 0-градусным срезом показана на рис. 1 (кривая 1). Образец с 45-градусным срезом имел примерно в 2.5 раза большую чувствительность к рентгеновской радиации, чем образец с 0-градусным срезом. Полученные нами

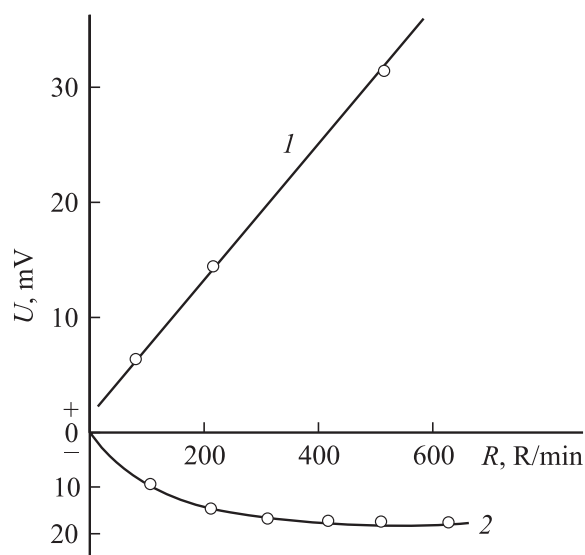
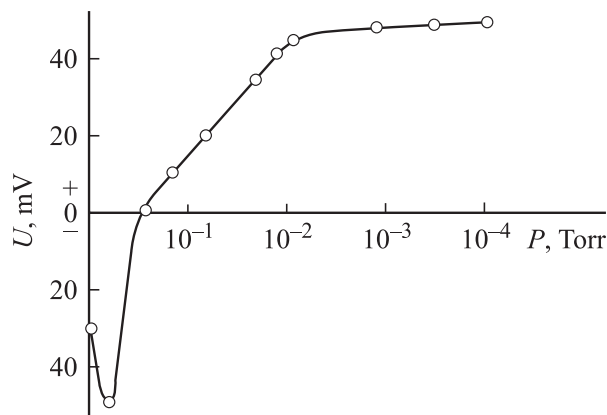


Рис. 1. Зависимость ПФН от  $R$  кристалла  $CdI_2$  с 0-градусным срезом в вакууме (1) и на воздухе (2).



**Рис. 2.** Зависимость ПФН кристалла  $\text{CdI}_2$  с 45-градусным срезом от величины давления кислорода в системе при  $R = 700 \text{ R/min}$ .

результаты экспериментального исследования ПФН в слоистых кристаллах иодистого кадмия в условиях вакуума согласуются с данными работ [3–5,7].

Облучение кристаллов  $\text{CdI}_2$  рентгеновскими квантами в условиях атмосферного давления на воздухе также приводит к возникновению ПФН. Однако регистрируемая величина в данном случае имеет противоположное по знаку значение и при увеличении  $R > 200 \text{ R/min}$  выходит на насыщение (рис. 1, кривая 2). Аналогичная зависимость с большей на 20–25% амплитудой ПФН в стадии насыщения характерна для  $\text{CdI}_2$  при измерении в газе  $\text{O}_2$ . Обнаружено, что при измерении в атмосфере воздуха ПФН образца с 0-градусным срезом ослабляется в  $\sim 2$  раза при уменьшении его толщины от 1.5 до 0.5 mm.

Зависимость ПФН кристалла  $\text{CdI}_2$  с 45-градусным срезом от давления кислорода при  $R = 700 \text{ R/min}$  показана на рис. 2, из которого следует, что при откачке газа из криостата величина ПФН сначала возрастает и после достижения максимального значения резко уменьшается, изменяет знак и выходит на насыщение, достигая исходного значения в условиях вакуума. Вид кривой, представленной на рис. 2, является характерным для аналогичной зависимости, полученной при измерении в атмосфере воздуха. Похожие закономерности были выявлены при измерении зависимости ПФН кристалла  $\text{CdI}_2$  с 0-градусным срезом от давления газов в системе.

Напуск порции  $\text{O}_2$  в криостат в процессе облучения с последующей откачкой также приводит к возникновению „вспышки“ величины ПФН. При этом наблюдается изменение ее знака как в момент напуска газа, так и при его откачке. Эта зависимость по сравнению с зависимостью, представленной на рис. 2, характеризуется дополнительным максимумом в момент напуска газа.

Исследованиями выявлено, что при облучении образца рентгеновскими квантами в атмосфере кислоро-

да значение ПФН резко увеличивается (примерно по экспоненциальному закону) с повышением температуры от 295 до 380 К. В области высоких температур при  $R > 150 \text{ R/min}$  обнаруживается даже линейная зависимость  $U_{\text{id}} = f(R)$ .

Последующее понижение температуры кристалла до 295 К приводит к восстановлению исходного значения ПФН. Предварительное облучение образцов в вакууме также не влияет на их адсорбционные свойства по отношению к кислороду и воздуху.

Таким образом, из представленных результатов следует, что газовая среда существенно влияет на величину и знак генерируемого рентгеновским излучением ПФН в  $\text{CdI}_2$ . Ранее [3–5] показано, что вследствие ярко выраженной анизотропии структуры, химической связи и электропроводности ПФВЭ в слоистых кристаллах  $\text{CdI}_2$  в условиях вакуума при оптическом и рентгеновском возбуждении проявляются в виде фотогальванического эффекта и поперечного эффекта Дембера [8]. Выявленная насыщаемость ПФН при  $R > 200 \text{ R/min}$ , в газовой среде при 295 К может быть вызвана конкуренцией адсорбционного процесса и процесса, обусловленного действием демберовского механизма [7]. При высоких температурах относительная эффективность адсорбционного процесса значительно возрастает.

Особенным является то, что при температуре 295 К зависимость величины ПФН  $\text{CdI}_2$  от  $R$  в условиях напущенного газа при атмосферном давлении (рис. 1, кривая 2) подобна аналогичной зависимости, измеренной в вакууме при температуре 90 К [8]. При низкой температуре этот материал имеет  $n$ -тип проводимости. Иодистый кадмий в невозбужденном состоянии при 295 К является полупроводником  $p$ -типа. В процессе облучения рентгеновскими квантами в условиях вакуума при этой температуре приповерхностная часть образцов вследствие образования электронных центров заряжается отрицательно [8].

При сорбции частиц газов акцепторного типа ( $\text{O}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ) [9,10] концентрация электронов вблизи поверхности полупроводников уменьшается и проводимость образцов падает. Одновременно в приповерхностном слое растет концентрация дырок. Относительные эффективности протекания сорбции на поверхности и генерации излучением неравновесных носителей заряда в глубине образца определяют величину и знак ПФН при изменении давления газа в системе [10].

Поскольку после откачки порции напущенного газа исходное значение генерируемого ПФН в  $\text{CdI}_2$  восстанавливается как по величине, так и по знаку, то можно полагать, что на облучаемой поверхности кристалла имеет место рентгеностимулированная адсорбция. В роли адсорбционных центров, вероятно, выступают носители заряда, захваченные дефектами поверхности. При этом главная роль в сорбционном процессе принадлежит дефектам с малым временем жизни [10].

Участие свободных носителей заряда кристалла в процессах, происходящих на поверхности образцов при

адсорбции на ней газов, а также активация температурой эффективности протекания процессов указывают на то, что влияние газов на поперечные фотоэффекты вызваны химической адсорбцией [10–13]. При этом частицы газов не внедряются в кристалл  $CdI_2$ , а лишь адсорбируются на поверхности, захватывая свободные электроны [14].

При хемосорбции на поверхности кристалла образуется локальный энергетический уровень, аналогичный обычным примесным уровням, связанным, например, с поверхностными дефектами [12,13]. При локализации заряда на поверхностных электронных состояниях происходит зарядка поверхности кристалла. Если в объеме есть свободные носители заряда, то они перераспределяются так, чтобы нейтрализовать поверхностный заряд. В приповерхностной области кристалла образуется двойной заряженный слой, толщина которого зависит от концентрации свободных носителей и ионизированных примесей.

Таким образом, эффективность хемосорбции в значительной степени определяется концентрацией носителей заряда у поверхности и поверхностных состояний. При стационарных условиях возбуждения установление адсорбционного равновесия на поверхности полупроводника предполагает конкуренцию двух процессов: с одной стороны, равновесный обмен между адсорбированными частицами и газовой средой, с другой стороны, электронный обмен между электронно-дырочной системой кристалла и уровнем адсорбционного происхождения [10–12]. В такой системе поверхностные и объемные заряды образуют сильное электрическое поле, направленное вдоль нормали к облучаемой поверхности. Области полупроводника, обогащенные или обедненные электронами (дырками), при сорбции газов достигают глубины 0.5–50 nm [12].

При уменьшении толщины кристалла  $CdI_2$  с 0-градусным срезом рентгеновские кванты, прошедшие через образец, с возрастающей эффективностью стимулируют протекание хемосорбции на тыльной поверхности. Это в свою очередь приводит к возникновению дополнительного электрического поля, которое направлено противоположно электрическому полю, вызванному адсорбцией частиц газа на облучаемой фронтальной поверхности образца. Конкурирующее взаимодействие этих процессов приводит к уменьшению величины ПФН. Некоторое увеличение значения ПФН на первом этапе откачки газа из системы может быть вызвано уменьшением эффективности поглощения рентгеновского излучения газами и ослаблением процесса обмена носителями заряда между адсорбированными частицами и газовой средой. При дальнейшей откачке газа из криостата сильное уменьшение величины и изменение знака ПФН вызвано уменьшением числа частиц, адсорбированных на поверхности.

## Список литературы

- [1] *Торопов А.Е., Васильев И.А., Нечаев А.Ф.* // Радиационно-стимулированные явления в твердых телах. Межвузовский сборник. Свердловск: Изд-во УПИ им. С.М. Кирова, 1979. Вып. 1. С. 54–61.
- [2] *Голованов В.В., Сердюк В.В., Стыс Л.Е.* и др. // УФЖ. 1988. Т. 33. № 3. С. 390–395.
- [3] *Бондарь В.Д., Лыскович А.Б., Матвишин И.М., Харамбура С.Б.* // Изв. АН СССР. Неорг. матер. 1990. Т. 26. № 3. С. 660–661.
- [4] *Матвишин И.М., Бондарь В.Д., Лыскович А.Б.* // Вестник Львовского ун-та. Сер. физ. 1990. Вып. 23. С. 27–30.
- [5] *Бондарь В.Д., Лыскович А.Б., Матвишин И.М., Харамбура С.Б.* // Тез. докл. XII Всесоюз. конф. по физике полупроводников. Киев, 1990. Ч. 2. С. 112.
- [6] Широкозонные слоистые кристаллы и их физические свойства / Под ред. А.Б. Лысковича. Львов: Вища школа, 1982. 148 с.
- [7] Основы полупроводниковой электроники / Под ред. О.В. Снитко. Киев: Наукова думка, 1985. 302 с.
- [8] *Kostyuk V.M., Lyskovich A.B., Matviishyn I.M., Novosad S.S.* // Functional Materials. 2000. Vol. 7. N 2. P. 220–223.
- [9] *Магомедов М.А., Магомедов Х.А., Ризаханов М.А., Гасанбеков Г.М.* // Тез. докл. V Всесоюз. совещания „Физика и техническое применение полупроводников“. Вильнюс, 1983. Т. I. С. 81–82.
- [10] *Бару В.Г., Волькенштейн Ф.Ф.* Влияние облучения на поверхностные свойства полупроводников. М.: Наука, 1978. 288 с.
- [11] *Волькенштейн Ф.Ф.* Электронные процессы на поверхности полупроводников при хемосорбции. М.: Наука, 1987. 432 с.
- [12] *Соколов В.А., Горбань А.Н.* Люминесценция и адсорбция. М.: Наука, 1969. 187 с.
- [13] *Пека Г.П.* Физические явления на поверхности полупроводников. Киев: Вища школа, 1984. 214 с.
- [14] *Ахоян А.П., Корсунская Н.Е., Маркевич И.В.* // УФЖ. 1988. Т. 33. № 6. С. 827–837.