Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный университет»

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
ИЗУЧЕНИЯ КЛАСТЕРОВ,
НАНОСТРУКТУР
И НАНОМАТЕРИАЛОВ**

МЕЖВУЗОВСКИЙ СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

выпуск 10

ТВЕРЬ 2018

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145

ББК Ж36:Г5+В379

Ф50

Рецензирование статей осуществляется на основании Положения о рецензировании статей и материалов для опубликования в Межвузовском сборнике научных трудов «Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов».

Официальный сайт издания в сети Интернет:

www.physchemaspects.ru

Ф50 Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов [Текст]: межвуз. сб. науч. тр. / под общей редакцией В.М. Самсонова, Н.Ю. Сдобнякова. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2018. – Вып. 10. – 708 с.

ISBN 978-5-7609-1395-1

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций, свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС 7747789 от 13.12.2011.

Сборник составлен из оригинальных статей теоретического и экспериментального характера, отражающих результаты исследований в области изучения физико-химических процессов с участием кластеров, наноструктур и наноматериалов физики, включая межфазные явления и нанотермодинамику. Сборник предназначен для научных и инженерно-технических работников, преподавателей ВУЗов, студентов и аспирантов. Издание подготовлено на кафедре общей физики Тверского государственного университета.

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145

ББК Ж36:Г5+В379

ISBN 978-5-7609-1395-1

ISSN 2226-4442

© Коллектив авторов, 2018

© Тверской государственной
университет, 2018

УДК 621.383.8

ДИАГНОСТИКА СОТОВОЙ СТРУКТУРЫ НА ЭЛЕКТРОННОМ ИЗОБРАЖЕНИИ МИКРОКАНАЛЬНЫХ ПЛАСТИН НА НАНОУРОВНЕ, ПРОШЕДШИХ ФОТОЭЛЕКТРОННУЮ ТРЕНИРОВКУ

В.И. Савенко, Д.Г. Самканашвили

ООО Владикавказский технологический центр «Баспик»

362021, РСО-Алания, Владикавказ, ул. Николаева 44, корп. 6

*ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет
им. Х.М. Бербекова»*

360004, КБР, Нальчик, ул. Чернышевского, 173

nis@baspik.com

DOI: 10.26456/pcascnn/2018.10.550

Аннотация: В данной публикации приведены результаты исследования экспериментальных образцов микроканальных пластин после проведения фотоэлектронной тренировки. При фотоэлектронной тренировке основное влияние на параметры микроканальных пластин оказывает электронная обработка. Влияние ультрафиолетового излучения на параметры микроканальных пластин без подачи напряжения на пластину незначительно. Под действием входного потока счищаются наноразмерные загрязнения, которые в небольших количествах имеют место по отдельным границам спекания.

Ключевые слова: микроканальная пластина, фотоэлектронная тренировка, ультрафиолетовое излучение.

1. Введение

Возрастающие запросы к качеству чистоты поля зрения современного электронно-оптического преобразователя (ЭОП) предъявляют повышенные требования к наличию сотовой структуры на электронном изображении, проявляющейся при определенных условиях эксплуатации микроканальной пластины (МКП), входящей в состав ЭОП и используемой в качестве усилителя входного сигнала. Это в свою очередь приводит к необходимости диагностировать поведение сотовой структуры с целью предсказания ее особенностей в ЭОП. В данной работе проводилась диагностика сотовой структуры на электронном изображении микроканальных пластин при помощи фотоэлектронной тренировки (ФЭТ), которая, в данном случае, является аналогом электронной тренировки.

Электронная тренировка МКП [1, 2] является неотъемлемой операцией при изготовлении современных ЭОП и проводится для очистки поверхности каналов от наноразмерных загрязнений в виде пленок и островков, не удаляющихся при термовакуумном обезгаживании, что уменьшает газосодержание МКП, а, следовательно, уровень побочных шумов при работе изделия и повышает долговечность прибора. Электронная тренировка оказывает существенное влияние на усиление и

пороговый ток сотовой структуры на электронном изображении МКП (СС на ЭИ). При режимах ФЭТ, которые применялись в данной работе, основное влияние на параметры МКП оказывает электронная обработка. За счет особенностей конструкции испытательного стенда получается стабильный входной сигнал, в качестве которого выступает ультрафиолетовое излучение [3]. В данной работе использовалась методика, по которой источником входного сигнала являются лампы ДРБ-20. Мощность излучения ДРБ-20 на $\lambda = 253,7$ нм, равна 5 Вт, Энергия фотона на данной длине волны – $7,81 \cdot 10^{-19}$ Дж (5,3 эВ).

2. Экспериментальная часть

ФЭТ проводилась в следующем режиме: напряжение, подаваемое на МКП $U_{мсп} = 1000$ В, напряжение, подаваемое на коллектор $U_{col} = 300$ В, продолжительность тренировки $t = 5$ ч. Через каждую МКП прошел заряд, равный 0,115 Кл. МКП подключались при проведении ФЭТ и прямо и инверторно с целью определения влияния ФЭТ на параметры МКП и сравнения вида СС при прямом и инверторном подключении.

По сравнению с контрольными образцами усиление обработанных МКП при прямом подключении выросло на 26 %, при инверторном на 22 %. При измерении порогового тока СС после ФЭТ замечено некоторое отличие у групп, проходивших ФЭТ с прямым и с инверторным подключением, – после прохождения ФЭТ пороговый ток СС у второй группы ниже, у первой и контрольной примерно одинаковы. Сопротивление осталось на том же уровне – $1,22 \cdot 10^8$ Ом. Фактор шума МКП для контрольных МКП составил 2,09, для МКП с прямым подключением при проведении ФЭТ – 2,18, с инверторным подключением при проведении ФЭТ – 2,29.

Для фиксирования вида сотовой структуры МКП на электронном изображении пластины фотографировались при прямом и инверторном подключении. На МКП подавалось рабочее напряжение, для инверторного подключения рабочее напряжение U_j соответственно было ниже, чем при прямом подключении. С увеличением входного тока с $1 \cdot 10^{-10}$ А до $4 \cdot 10^{-7}$ А вид СС изменялся следующим образом. Относительно широкая светлая СС с темной тонкой окантовкой с двух сторон с увеличением входного тока увеличивала контраст вместе с темной составляющей, которая преимущественно становилась сплошной. Похожая картина наблюдалась при прямом и инверторном подключении МКП. Из рис. 1 видно, что при рабочем напряжении на МКП независимо прямое ли или инверторное подключение МКП на всех МКП при одинаковых входных токах сотовая структура выглядит одинаково. Фотографии сотовой структуры при

других значениях входного тока не приводятся.

На рис. 2 представлен вид СС на ЭИ после проведения ФЭТ. Вид СС на ЭИ при одинаковых напряжениях на МКП идентичен. Если сравнить изображения СС при рабочем напряжении и 800 В, получаем следующее: вид СС до и после проведения ФЭТ, при рабочем напряжении на МКП при одинаковых входных токах одинаков. При подаче напряжения на МКП после ФЭТ 800 В чтобы получить изображение СС, схожее с изображением до ФЭТ, необходимы более высокие входные токи (отличаются по своему значению примерно на порядок). Таким образом, вид СС на ЭИ зависит в первую очередь от усиления МКП. Отличий в поведении пограничных каналов (ПК) и внутренних каналов (ВК) после ФЭТ по сравнению с их поведением до ФЭТ не обнаружено.

Рис. 1. МКП 18-6 447/06-03 до проведения ФЭТ, входной ток $5 \cdot 10^{-9}$ А: а – прямое подключение, $U_{\text{ср}} = 750$ В, б – инверторное подключение, $U_{\text{ср}} = 716$ В.

Рис. 2. МКП 18-6 447/06-03 после проведения ФЭТ, входной ток $5 \cdot 10^{-9}$ А: а – $U_{\text{ср}} = U_j = 750$ В, б – $U_{\text{ср}} = 800$ В.

3. Обсуждение результатов

Полученные в данной работе результаты позволяют объяснить улучшение вида СС на электронном изображении после проведения ФЭТ при фиксированном режиме оценки сотовой структуры ($U_{mcp} = 800$ В, $I_{out} = 0,5 I_{cond}$, где I_{out} – выходной ток, I_{cond} – ток проводимости) (см. рис. 3), учитывая разницу в усилении ВК и ПК, обусловленную отличием их диаметров от которых зависит геометрия внутренней поверхности каналов, взаимодействующей с потоком электронов, исходя из формул, используемых в шаговой модели МКП [4] следующим образом.

Усиление МКП равно (1):

$$M = \sigma_1 \sigma_k^b, \quad (1)$$

где σ_1 – коэффициент вторичной электронной эмиссии при первом соударении, σ_k – каскадный КВЭЭ, b – число динодов в канале, которое рассчитывается по формуле:

$$b = 4\alpha^2 U_0 / U, \quad (2)$$

где U_0 – средняя энергия вторичных электронов, U – напряжение, подаваемое на МКП. Калибр канала α определяется по формуле (3):

$$\alpha = l / d, \quad (3)$$

где l – длина канала, d – диаметр канала.

Поскольку при фиксировании внешнего вида СС напряжение, подаваемое на МКП, не меняется, предположим, что и U_0 до и после проведения ФЭТ остается неизменной (4):

$$a = 4U_0 / U. \quad (4)$$

Следовательно, получим (5):

$$b = 4\alpha^2 U_0 / U = a\alpha^2. \quad (5)$$

Предположим, что технология производства МКП позволяет изготавливать идентичные по своим эмиссионным свойствам ПК и ВК, т.е. σ_1 и σ_k для ПК и ВК одинаковы. Пусть M – усиление внутренних каналов, M_1 – усиление пограничных каналов, то получим:

$$\frac{M}{M_1} = \frac{\sigma_1 \sigma_k^b}{\sigma_1 \sigma_k^{b_1}} = \sigma_k^{b-b_1} = \sigma_k^{a\alpha^2 - a\alpha_1^2} = \sigma_k^{a(l/d)^2 - a(l/d_1)^2} = \sigma_k^{a l^2 [(1/d)^2 - (1/d_1)^2]}, \quad (6)$$

где d – диаметр внутренних каналов, d_1 – диаметр пограничных каналов, b_1 – число динодов в пограничном канале.

Из формулы видно, что если есть различие в диаметрах внутренних и пограничных каналов (например, диаметр пограничных каналов больше) при снижении σ_k при всех прочих равных условиях разница в усилении внутренних и пограничных каналов уменьшится, что и обуславливает улучшение вида сотовой структуры после ФЭТ (снижается σ_k). Кроме

При инверторном подключении, когда электронные лавины наиболее интенсивно обрабатывают вход МКП, фактор шума повышается сильнее.

3. До и после ФЭТ при одинаковом усилении МКП вид СС идентичен.

Библиографический список:

1. Пат. **2304821 Российская Федерация, МПК H01J 9/12**. Способ обезгаживания микроканальной пластины / Емельянов А.А.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Орловский государственный технический университет». – № 2006109785/285; заявл. 27.03.2006; опубл. 20.08.2007, Бюл. № 23. – 5 с.
2. **Gys, T.** Micro-channel plates and vacuum detectors Author links open overlay panel / T. Gys // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2015. – V. 787. – P. 254-260.
3. **Савенко, В.И.** Изменение характеристик микроканальных пластин под влиянием фотонного и электронного облучения / В.И. Савенко // Труды молодых ученых Владикавказского научного центра РАН. – 2008. – № 3. – С. 26-28.
4. **Алкацева, Т.Д.** Закономерности формирования и минимизация дефектов электронного изображения микроканальных пластин: дисс. ... канд. тех. наук : 05.27.02 защищена 29.02.00 / Алкацева Татьяна Даниловна. – Владикавказ: СКГТУ, 1999. – 247 с.
5. **Бестфатер, Д.В.** Фактор шума МКП и его влияние на отношение сигнал-шум на выходе ЭОП / Д.В. Бестфатер, С.К. Кулов, Л.А. Македонова, Г.В. Федотова // Международная научно-техническая конференция «Микро- и нанотехнологии и фотоэлектроника», 13-19 июля 2008, Нальчик: материалы конференции. – Нальчик, 2008. – С. 44-45.

References:

1. Pat. **2304821 Rossijskaya Federaciya, MPK H01J 9/12**. Sposob obezgazhivaniya mikrokanal'noj plastiny / Emel'yanov A.A.; zayavitel' i patentoobladatel' GOU VPO «Orlovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet». – no. 2006109785/285; zayavl. 27.03.2006; opubl. 20.08.2007, Byul. no. 23. – 5 p.
2. **Gys, T.** Micro-channel plates and vacuum detectors Author links open overlay panel / T. Gys // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2015. – V. 787. – P. 254-260.
3. **Savenko, V.I.** Izmenenie harakteristik mikrokanal'nyh plastin pod vliyaniem fotonnogo i elektronnoho oblucheniya / V.I. Savenko // Trudy molodyh uchenyh Vladikavkazskogo nauchnogo centra RAN. – 2008. – no. 3. – P. 26-28.
4. **Alkaceva, T.D.** Zakonomernosti formirovaniya i minimizaciya defektov elektronnoho izobrazheniya mikrokanal'nyh plastin: diss. ... kand. tekh. nauk : 05.27.02 zashchishchena 29.02.00 / Alkaceva Tat'yana Danilovna. – Vladikavkaz: SKGTU, 1999. – 247 p.
5. **Bestfater, D.V.** Faktor shuma MKP i ego vliyanie na otnoshenie signal-shum na vyhode EOP / D.V. Bestfater, S.K. Kulov, L.A. Makedonova, G.V. Fedotova // Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferenciya «Mikro- i nanotekhnologii i fotoelektronika», 13-19 iyulya 2008, Nal'chik: materialy konferencii. – Nal'chik, 2008. – P. 44-45.

**NANOSCALE DIAGNOSTICS OF THE «CHICKEN WIRE» STRUCTURE ON THE
ELECTRON IMAGE OF MICROCHANNEL PLATES EXPOSED TO PHOTOELECTRON
SCRUBBING**

V.I. Savenko, D.G. Samkanashvili

Ltd Vladikavkaz Technological Center «Baspik»

Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov

DOI: 10.26456/pcascnn/2018.10.550

Abstract: This paper presents the results of investigation of experimental prototypes of microchannel plates after photoelectron scrubbing. In the case of photoelectron scrubbing microchannel plate parameters are influenced mainly by the electron processing. The UV light influence on microchannel plate performance is insignificant when there is no voltage supply. Nano-scale contamination which exists in small amounts at some multi-boundaries is cleaned off when exposed to the input current.

Keywords: microchannel plate, photoelectron scrubbing, UV radiation.

Савенко Виталий Игоревич – старший инженер лаборатории нанотехнологий ООО Владикавказского технологического центра «Баспик», экстерн ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»

Самканашвили Давид Геннадиевич – директор по науке и инноватике ООО Владикавказского технологического центра «Баспик», экстерн ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»

Vitalii I. Savenko – Senior engineer of the Laboratory of Nanotechnology, Ltd Vladikavkaz Technological Center «Baspik», external student in Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov

David G. Samkanashvili – Director of Science and Innovation, Ltd Vladikavkaz Technological Center «Baspik», external student in Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov