

## Electroluminescent switches on the basis of monocrystals of solid solutions $\text{GaS}_x\text{Se}_{1-x}$

A. G. Kyazym-Zade, V. M. Salmanov, V. V. Dadashova  
Baku State University, Baku, Republic of Azerbaijan

*The phenomena of high-speed effects of switching and an electroluminescence in monocrystals of solid solutions  $\text{GaS}_x\text{Se}_{1-x}$  were found out and investigated. It was established that the electroluminescence was observed in pre-breakdown areas of current-voltage characteristic. While switching a sample from a high-resistance condition into low-resistance the intensity of an electroluminescence jump decreases up to zero though the current through a sample sharply grows. Experimental results, which testify to the injection mechanism of an electroluminescence as it takes place in  $A^3B^6$ -type layered crystals, are attached.*

УДК 621.382.002

## Сканирующая эллипсометрия высокого разрешения как метод контроля чистоты поверхности ОЭС-фотокатодов при производстве электронно-оптических преобразователей

A. B. Долгих

ОАО "Катод", г. Новосибирск, Россия

I. A. Леонов

Миланская политехника, г. Милан, Италия

*Рассмотрена возможность использования сканирующего эллипсометра в качестве инструмента контроля чистоты поверхности арсенидгаллиевых фотокатодов при производстве электронно-оптических преобразователей.*

© Долгих А. В., Леонов И. А., 2007

В настоящее время наиболее эффективными фотокатодами для электронно-оптических преобразователей (ЭОП) в видимом и ближнем ИК-диапазонах являются так называемые фотокатоды с отрицательным электронным сродством (ОЭС) [1, 2] на основе соединений элементов III и V групп, преимущественно из арсенида галлия-арсенида галлия—алюминия ( $\text{GaAs—AlGaAs}$ ). Одной из важнейших характеристик качества ЭОП с ОЭС-фотокатодом является "чистота поля зрения" — равномерность, т. е. одинаковость фотоэмиссии электронов по площади фотокатода при равномерном освещении светом фотокатода ЭОП. При изготовлении ОЭС-фотокатодов для получения "атомарно-чистой" поверхности используются специальные химическое травление и физико-термическая обработка  $\text{GaAs}$ -поверхности фотокатодов в сверхвысоком вакууме, а затем на поверхность фотокатода напыляется цезиево-кислородное покрытие, которое эффективно снижает электронное сродство таким образом, что электрон, находящийся на дне зоны проводимости, имеет

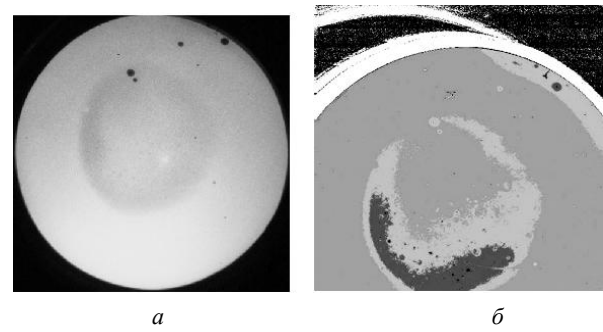
большую потенциальную энергию, нежели электрон, находящийся в вакууме вблизи поверхности такого фотокатода. В реальном производстве приборов появляющиеся на поверхности фотокатода неконтролируемые локальные загрязнения в виде точек и линий препятствуют выходу электронов в вакуум, и такое фотоэмиссионное изображение повторяется в виде темных точек и линий в люминесцентном изображении на экране ЭОП. Эти загрязнения на поверхности обрабатываемых фотокатодов не видны не только невооруженным глазом, но и в сильный оптический микроскоп, что является очень серьезной проблемой в управлении их качеством. Для оперативного поиска, определения и устранения причин таких локальных загрязнений необходим недорогой неразрушающий экспрессный (производительный) метод, чувствительный к локальным микрозагрязнениям на поверхности, позволяющий за небольшое (~10 мин) время протестировать всю поверхность фотокатода диаметром 20 мм, выявить загрязненные участки и измерить их размеры. Растровая Оже-

спектроскопия и электронная микроскопия в условиях серийного производства ввиду сложности и длительности анализа могут применяться только для выборочного контроля.

Так как при межоперационном контроле фотoluminesцентным микроскопом перед финишным травлением и сборкой отбраковываются все GaAs-фотокатоды, содержащие темные пятна и линии, связанные с дефектами в объеме GaAs-кристалла, было сделано предположение, что наиболее вероятными причинами появления темных точек и линий в эмиссионном изображении GaAs-фотокатодов являются именно поверхностные загрязнения.

Поскольку метод эллипсометрии уже давно применяется для исследования процессов, происходящих на поверхности полупроводниковых материалов [3], было предложено контролировать поверхность фотокатода с помощью сканирующего эллипсометра. Для работы применялся сканирующий эллипсометр высокого пространственного разрешения МИКРОСКАН, разработанный в Институте физики полупроводников СО РАН. Размеры поля сканирования эллипсометра  $150 \times 150$  мм, пространственное разрешение до 10 мкм, длина волны лазера  $\sim 633$  нм. В процессе измерений проводилось сканирование лучом поверхности фотокатода и фиксировалась зависимость изменения угла  $\Delta$  от координаты. Для удобства визуализации результаты представлялись в виде цветных  $\Delta$ -топограмм. Сканирование проводилось по GaAs-поверхности с разрешением  $\sim 25$  мкм. Время сканирования одного фотокатода составляло  $\sim 40$  мин, однако для промышленного применения это время может быть уменьшено до 8—10 мин за счет изменения алгоритма сканирования (спиральный растр сканирования вместо прямоугольного и сканирование с переменным шагом).

Первоначально исследовались фотокатоды из ЭОП, забракованных из-за наличия темных точек и линий или серых участков в эмиссионном изображении. Фотокатоды отделялись от таких приборов и сразу, чтобы исключить их загрязнение, устанавливались на подвижный столик эллипсометра, затем на них измерялись распределения угла  $\Delta$  по всей площади фотокатодов. Как видно из рис. 1, видимые на экране такого ЭОП "черные" точки вверху и "серый" круг в центральной зоне (фотоэмиссионное изображение фотокатода) так же проявляются и в эллипсометрической  $\Delta$ -топограмме этого же фотокатода.

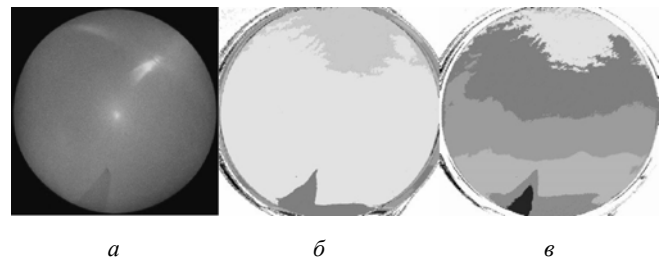


**Рис. 1. Фотокатод P325:**

*a* — эмиссионное изображение; *б* — эллипсометрическое изображение с высоким разрешением по площади

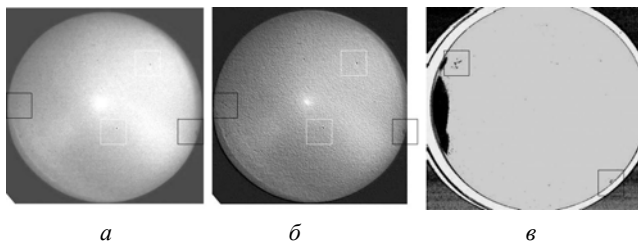
Несколько фотокатодов из аналогичных забракованных ЭОП были исследованы методом Оже-спектроскопии, при этом было установлено, что на участках фотокатодов, соответствующих "черным" точкам, кроме атомов Ga, As, Cs и O, присутствуют атомы C, S, Cl и Fe, а на "серых" участках соотношение амплитуд Оже-пигов Ga, As, Cs и O было иным, нежели на "чистых" участках фотокатода. Таким образом, на участках "черных" точек присутствуют посторонние атомы — "локальные загрязнения".

Наконец, несколько фотокатодов были проконтролированы на эллипсометре сразу после финишного химического травления перед их загрузкой в сборочную установку вакуумной обработки и активировки фотокатодов и сборки ЭОП. После контроля фотокатоды загружались в установку сборки и камеру активировки без каких-либо дополнительных обработок. Это было сделано для уточнения этапа производственного процесса, на котором вносятся посторонние примеси. На двух из них на эллипсометрической  $\Delta$ -топограмме проявились особенности, которые затем проявились и в фотоэмиссионном изображении (рис. 2, 3).



**Рис. 2. Фотокатод A54:**

*a* — эмиссионное изображение; *б* — эллипсометрическое изображение, диапазон отображаемых значений угла  $\Delta \sim 10^\circ$ ; *в* — эллипсометрическое изображение, диапазон отображаемых значений угла  $\Delta \sim 5^\circ$



**Рис. 3. Фотокатод DP276-3:**

*a* — эмиссионное изображение; *б* — обработанное эмиссионное изображение; *в* — эллипсометрическое изображение. Черным прямоугольным контуром отмечены дефектные области, присутствующие как на эллипсометрическом, так и на эмиссионном изображении; белым — только на эмиссионном изображении. Темная область в левой части эллипсометрического изображения отличается от центральной части примерно на  $1^\circ$  от  $\Delta$  и поэтому не означает дефектную область в отличие от точечных дефектов, где отличие по  $\Delta$  составляет более  $3^\circ$

В результате проведенных исследований можно утверждать, что сканирующая эллипсометрия позволяет обнаружить на поверхности фотокатода практически все локальные дефекты — загрязнения или изменение состава, которые могут приводить к ухудшению или исчезновению фотоэмиссии на отдельных участках фотокатода. Минимальные размеры таких дефектов определяются разрешением по поверхности, т. е. возможностями сканирующего устройства. Следует также отметить, что вид эллипсометрических  $\Delta$ -топограмм сильно зависит от выбираемого диапазона по углу  $\Delta$ , иными словами, в случае малых диапазонов на изображениях появлялся своего рода шум, а в случае очень большого — переставали разрешаться некоторые детали. Поэтому для каждого измерения необходимо выбирать свои максимальные и минимальные значения по  $\Delta$  (см. рис. 2).

Несмотря на совпадение в большинстве случаев данных сканирующей эллипсометрии и изображения в собранном приборе, некоторые дефекты не были обнаружены эллипсометром, а проявились только после сборки (см. рис. 3), что говорит о возможности внесения этих дефектов на этапах "активировки" и окончательной сборки.

## Выводы

1. Причиной дефектов, приводящих к появлению на экране ЭОП черных точек и линий (к браку), является наличие тонких пленок загрязнений на поверхности фотокатода.
2. Большинство таких дефектов привносится на фотокатод до этапа окончательной сборки.
3. Сканирующая эллипсометрия является надежным, быстрым, неразрушающим и достаточным методом контроля чистоты поверхности фотокатодов для поиска источника загрязнения.
4. Сканирующий эллипсометр может быть использован для контроля чистоты поверхности фотокатодов до и после других операций, например удаления GaAs-подложки или травления AlGaAs-стопорного слоя. Контроль может производиться как перед загрузкой фотокатодов в сверхвысоковакуумную камеру "активировки" и сборки, так и *in-situ* во время нанесения цезиево-кислородного покрытия, для чего эллипсометр должен быть встроен в вакуумную камеру.

Авторы выражают благодарность В. Г. Кесслеру, Е. В. Спесивцеву, А. Г. Борисову, В. И. Швецу и С. В. Рыхлицкому из Института физики полупроводников СО РАН за помощь при проведении исследований

## Литература

1. Кисс Р. Дж., Крузе П. В., Патли Э. Г. и др. Фотоприемники видимого и ИК-диапазонов: Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1985. — 328 с.
2. Аззам Р., Башара Н. Эллипсометрия и поляризованный свет. — М.: Мир, 1981. — 583 с.
3. Волков В. Г. Приборы ночного видения новых поколений// Специальная техника. 2001. № 5.

Статья поступила в редакцию 5 июля 2006 г.

## High resolution scanning ellipsometry as test method of NEA-photocathode surface cleanliness in image intensifier tubes manufacture

*A. V. Dolgikh*

Joint Stock Company "Katod", Novosibirsk, Russia

*I. A. Leonov*

Politecnico di Milano, Milan, Italy

*In this paper a possibility of scanning ellipsometer use as means to test surface cleanliness of GaAs-photocathode in image intensifier tubes manufacture is discussed.*

