

УДК 621.397.46

## ПАССИВНО-МАТРИЧНЫЕ МИКРОДИСПЛЕИ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩЕГО ТИПА

А.С. МОХАММЕД, Е.В. МУХА, А.А. СТЕПАНОВ, А.Г. СМИРНОВ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь**Поступила в редакцию 1 апреля 2014*

Описаны конструкция, технология и основные параметры пассивно-матричного микродисплея светоизлучающего типа на основе Шоттки-структуры нанопористый кремний/алюминий для персональных видеопроекционных систем с улучшенными потребительскими свойствами. Контроль их функционирования осуществлялся визуально с помощью специально разработанных методики и программно-аппаратного комплекса, включающего генератор испытательных сигналов в виде набора тестовых полей и программного обеспечения, установленного на персональном компьютере с операционной системой Windows XP.

*Ключевые слова:* видеопроекционное устройство, микродисплей, контроль функционирования.

### Введение

В настоящее время наблюдается новый виток интереса к микродисплейной технике в связи с тем, что начиная с 2013 г. крупнейшие корпорации мира Google, Microsoft, Samsung и др., закончили разработки и начали промышленное производство различных вариантов «умных очков» и мобильных устройств телекоммуникации на их основе, главным техническим компонентом которых являются микродисплеи (см. рис. 1). Из-за того, что дистанция наблюдения составляет всего несколько сантиметров, изображение воспринимается глазом человека как «виртуальное», соответствующее полноэкранному изображению 40-дюймового экрана телевизора с расстояния нескольких метров (см. рис. 2). Как видно из рисунка, выигрыш в эффективности отображения информации достигает 300-500 раз. Несомненно, что функциональность «умных очков» определяется используемым программным обеспечением, однако их потребительские свойства зависят, в первую очередь, от параметров и характеристик применяемых в них микродисплеев.



Рис. 1. «Умные» очки Google (слева) и Microsoft (справа)

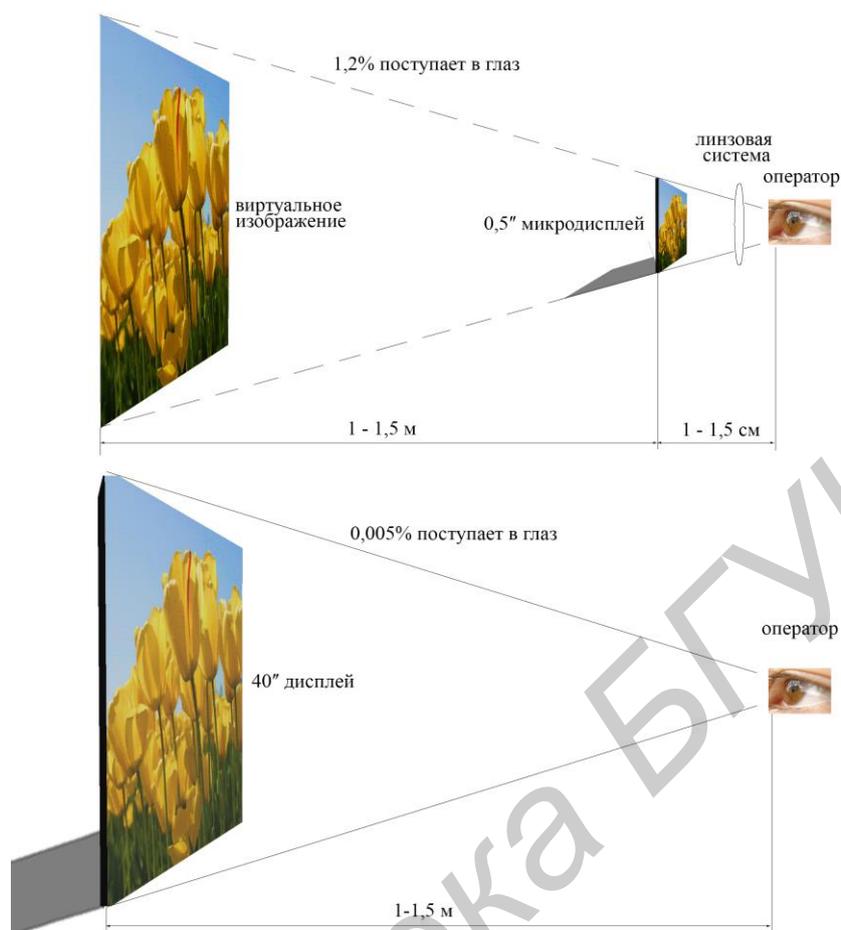


Рис. 2. Повышение эффективности отображения информации с помощью микродисплейных технологий

В данной работе приведены результаты разработки и исследования пассивно-матричных микродисплеев светоизлучающего типа на основе низковольтных электролюминесцентных Шоттки-структур нанопористый кремний/алюминий.

Электролюминесценция в кремнии с квантовой эффективностью  $\sim 10^{-8}$  впервые была получена в 50-х годах прошлого века. В дальнейшем было обнаружено, что создание массива квантовых точек или нитей путем самоформирования кремниевых наноструктур в процессе электрохимической обработки в растворах плавиковой кислоты значительно повышает эффективность электролюминесценции. Обзор достижений в этой области приведен в работе [1].

К настоящему времени у обратно смещенных (лавинных) диодов на наноструктурированном кремнии достигнута внешняя квантовая эффективность 1,4 %, что открывает перспективы создания полностью кремниевых высокоскоростных оптоэлектронных систем передачи данных, высокоинформативных микродисплеев и др. Однако физические процессы, происходящие в подобных структурах, еще недостаточно изучены, оптимизация светодиодов идет путем «проб и ошибок», а полученные результаты далеко не всегда уверенно воспроизводятся.

### Пассивно-матричные микродисплеи с мультиплексным управлением

Нанопористый кремний является перспективным материалом, поскольку на его основе возможно изготовление полностью интегрированных со схемами управления микродисплеев, отличающихся повышенными функциональными возможностями и надежностью, высокими эргономическими параметрами и приемлемой стоимостью [2-4]. Такие микродисплеи представляют собой матрицу Шоттки диодов алюминий/нанопористый кремний (рис. 3), эффективно излучающие в видимой области спектра при подаче обратного напряжения на уровне нескольких вольт. Основное их преимущество – минимальные размеры элементов

отображения (пикселей), высокое разрешение и быстродействие, возможность использования стандартной кремниевой КМОП-технологии при существующих проектных нормах, что обеспечивает их низкую себестоимость при практически нулевых начальных инвестициях в производственную базу.

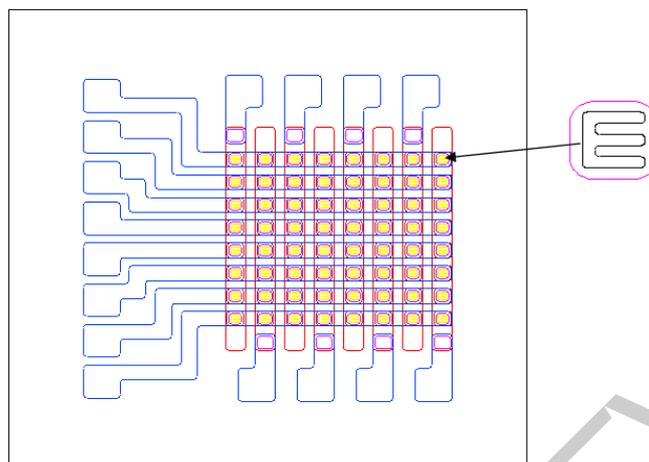


Рис. 3. Топология тестового кристалла микродисплея

Следует отметить, что светоизлучающие микродисплеи (LED, OLED) имеют ряд принципиальных преимуществ перед жидкокристаллическими LCOS микродисплеями, так как обладают существенно более высоким быстродействием по сравнению с ЖК ячейками, что позволяет создавать высокоинформативные пассивно-матричные микродисплеи с высоким качеством изображения.

Малое время отклика и работа на больших плотностях тока позволяют реализовать эффективное мультиплексирование и, в итоге, создать недорогие высокоинформативные пассивно-матричные микродисплеи. Например, при плотности рабочего тока  $J = 7000 \text{ A/cm}^2$ , активной площади излучающей поверхности  $A^2 = 0,6 \times 0,6 \text{ см}$ , напряжении смещения  $V = 8 \text{ В}$ , внешней энергетической эффективности  $\eta = 0,3 \%$  и мощности излучения  $W = 0,2 \text{ мВт}$ , возможно достижение уровня мультиплексирования  $M$ , равного  $M = (J \cdot V \cdot \eta \cdot A^2) / W = 302400$ , что соответствует VGA формату разрешения микродисплея. Для 10 мс цикла его адресации, временной отклик каждого пикселя должен быть  $\sim 30$  наносекунд, что легко достигается в кремниевых светоизлучающих диодах. При таком уровне мультиплексирования возможно прямое отображение видеoinформации (как в электронно-лучевых трубках) без дополнительных микросхем памяти и использования специфических драйверов.

В НИИ 4.7 БГУИР для создания высокостабильных кремниевых лавинных светодиодов традиционно используется электродная система  $\text{Al-Al}_2\text{O}_3$  поверх нанопористого кремния. Технологически эта система формируется путем напыления алюминия и последующим анодированием через фоторезистивную маску. Основными преимуществами данной технологии являются:

- использование низкотемпературных процессов;
- вакуумная очистка слоя пористого кремния в процессе подготовки и напыления  $\text{Al}$ ;
- полная изоляция слоя пористого кремния от внешних воздействий пленкой  $\text{Al-Al}_2\text{O}_3$ .

В процессе разработки и изготовления тестовых кристаллов пассивно-матричных микродисплеев на основе нанопористого кремния были решены проблемы, связанные как с особенностями светоизлучающих элементов (повышением напряжения пробоя, «мертвым» током на начальном участке ампер-яркостной характеристики, выводом излучения по периметру электрода), так и с особенностями функционирования пассивно-матричного дисплея в целом (проблема токоподвода к отдельным светодиодам по узкой длинной шине, проблемы экранирования излучения и смещения вольт-яркостных характеристик, проблема создания большого количества сильноточных ключей для управления пассивной матрицей и др.). Внешний вид тестового кристалла и активной структуры в поперечном разрезе приведены на рис. 4 и 5.

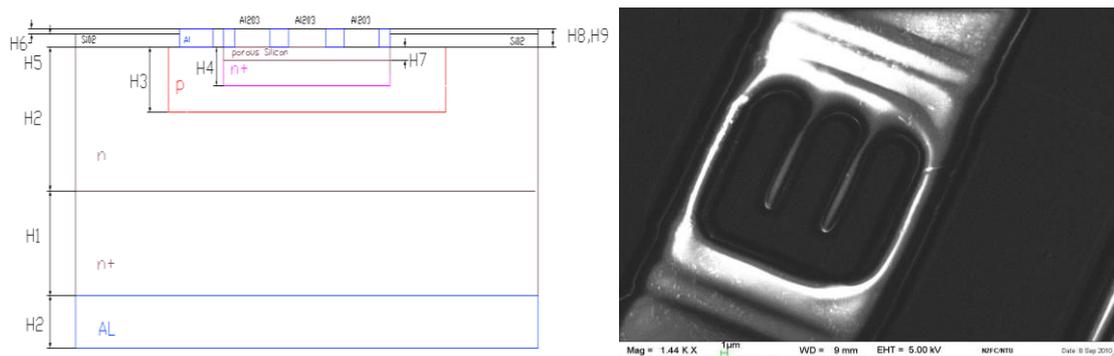


Рис. 4. Активная структура тестового кристалла микродисплея в поперечном разрезе

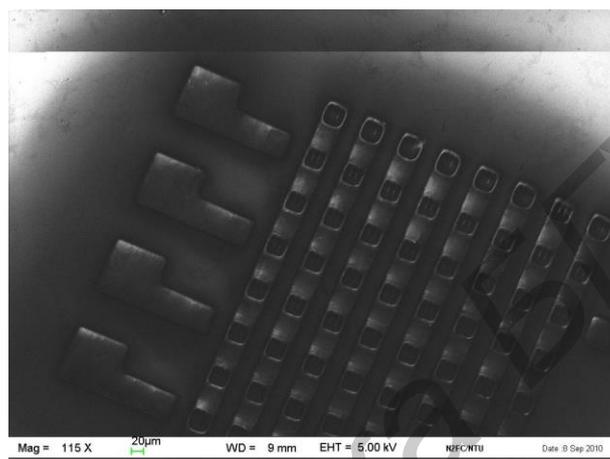


Рис. 5. Внешний вид кристалла микродисплея

Основной особенностью данной структуры является использование в качестве верхнего электрода Шоттки диода специально сформированного наноструктурированного слоя алюминия, обладающего прозрачностью на уровне 65–70 % [5,6] и малым удельным электрическим сопротивлением на уровне 100 Ом/кв., что позволило существенно повысить эффективность работы прибора.

### Технология формирования слоев нанопористого кремния

Стандартным технологическим приемом формирования наноструктурированного пористого кремния как функционального слоя для светоизлучающих приборов оптоэлектроники является электрохимическое травление (анодирование) в концентрированной плавиковой кислоте [5], имеющем такие существенные недостатки, как малое время травления (несколько секунд для получения тонких нанопористых слоев), высокая токсичность для операторов и агрессивное воздействие плавиковой кислоты на металлизацию. В данной работе для формирования стабильных и воспроизводимых слоев нанопористого кремния мы впервые использовали раствор соли плавиковой кислоты состава  $\text{NH}_4\text{F}:\text{H}_3\text{PO}_4:\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}:\text{H}_2\text{O}$  со сверхмалой концентрацией ионов фтора. Добавление этанола ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) в раствор позволяет эффективно смачивать поверхность кремния, в результате чего увеличивается воспроизводимость процесса, а добавление ортофосфорной кислоты ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) позволяет контролировать уровень ионов фтора в растворе и получать равномерные пористые слои по всей поверхности анодирования. Использование фторида аммония ( $\text{NH}_4\text{F}$ ) снижает уровень токсичности до абсолютно безопасного для операторов предела, а также минимизирует агрессивное воздействие на металлизацию приборов.

Зависимость размера пор в растворе  $\text{NH}_4\text{F}:\text{H}_3\text{PO}_4:\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}:\text{H}_2\text{O}$  от концентрации  $\text{NH}_4\text{F}$  при плотности тока  $J = 0,1 \text{ мА/см}^2$  приведена на рис. 6. Видно, что с увеличением концентрации  $\text{NH}_4\text{F}$  с 5 до 25 масс. % размер пор уменьшается с 20 до 10 нм. При этом пористые слои имеют губчатую структуру и пористость в пределах 70–80 %.

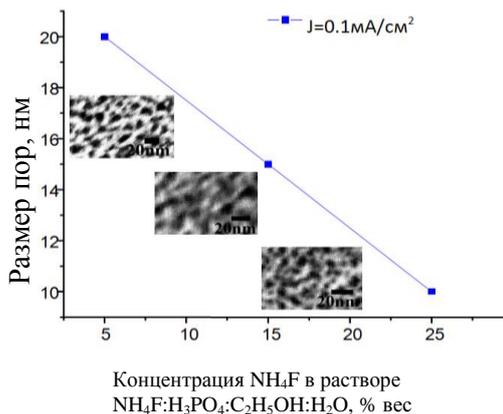


Рис. 6. Зависимость размера пор от концентрации  $\text{NH}_4\text{F}$  в растворе  $\text{NH}_4\text{F}:\text{H}_3\text{PO}_4:\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}:\text{H}_2\text{O}$

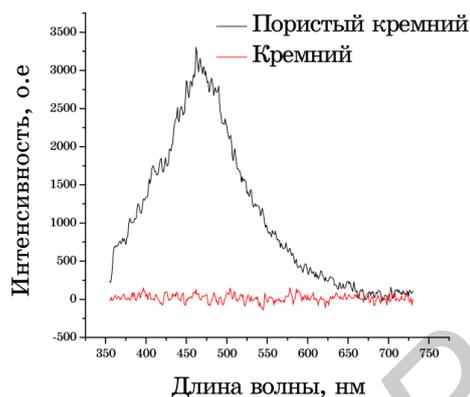


Рис. 7. Спектры фотолуминесценции нанопористого и монокристаллического кремния

Спектры фотолуминесценции нанопористого и монокристаллического кремния показаны на рис. 7. Как видно из рисунка, пик фотолуминесценции для нанопористого кремния лежит в голубой области (460 нм).

### Оптимизация технологического процесса

В табл. 1 приведена последовательность оптимизированных технологических операций изготовления тестового кристалла матричного микродисплея светоизлучающего типа на основе нанопористого кремния, совместимых со стандартной КМОП-технологией.

Технологический маршрут и основные параметры структуры

Элементы структуры		Толщина, мкм	Тип проводимости	Используемый материал		Поверхностное сопротивление	Удельное сопротивление Ом·см
Наименование	Обозн.			Наименование	ГОСТ, ОСТ, ТУ		
Подложка	H1	255 ± 20	<i>n</i>	Легирующая добавка–сурьма	–	–	0,01
Эпитаксиальный слой	H2	13 ± 1,5	<i>n</i>	Легирующая добавка–фосфор	–	–	3,0 ± 0,3
База	H3	3,2 ± 0,5	<i>p</i>	флюобор	ОСТ 6-02-4-83	250 ± 50	–
Эмиттер	H4	2,0 ± 0,8	<i>n</i>	Фосфор треххлористый особой чистоты	ЕТО.035.290 ТУ	3-7	–
Окисел	H5	0,7 ± 0,07	–	Двуокись кремния	–	–	–
Защитный слой (СТФСС)	H6*	0,2 - 0,27	–	Тетраэтоксисилан ОСЧ.14-50П-1 Триметиловый эфир фосфорной кислоты	ТУ6-09-5230-85 ТУ6-09-3473-78	–	–
Анодирование кремния в <i>n</i> -карманах	H7	0,4 – 0,6	<i>n</i>	Раствор $\text{NH}_4\text{F}:\text{H}_3\text{PO}_4:\text{H}_2\text{O}$ в различных соотношениях	–	–	–
Металлизация	H8	1,0 – 1,2	–	Слитки алюминиевые цилиндрические А995 250Х400 Н Заготовка АК 1,0 270x120x238 К	ГОСТ 1943 7-81 ЯеО. 021.157ТУ	–	–
Анодирование алюминия	H9	1,0 – 1,2	–	Раствор $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}$ в различных соотношениях	–	–	–

Достигнуты следующие основные параметры излучающих структур:

- минимальное пространственное разрешение 12x12 мкм;
- рабочее напряжение от –5 до –8 В;
- быстродействие от 5 до 30 нс;
- плотность рабочего тока до 7000 А/см<sup>2</sup> в импульсе;

- яркость излучения не менее 20 Кд/м<sup>2</sup>;
- внешняя эффективность не менее 1 %;
- срок службы не менее 7000 час.

Таким образом, светоизлучающие пассивно-матричные микродисплеи на основе кремниевых лавинных светодиодов могут рассматриваться в качестве реальных конкурентов на рынке видеопроекционных устройств отображения информации персонального типа.

### **Заключение**

В данной статье описаны конструкция, технология и основные параметры пассивно-матричных микродисплеев на основе обратно смещенных Шоттки диодов со структурой нанопористый кремний/алюминий. Особое внимание уделено процессу формирования нанопористых слоев кремния требуемой толщины, обладающих высокой пористостью, губчатой структурой с наноразмерными порами, что позволяет эффективно использовать их в светоизлучающих оптоэлектронных приборах различного назначения.

Уникальность параметров кремниевых светоизлучающих диодов позволяет конструировать на их основе недорогие пассивно-матричные высокоинформативные микродисплеи, которые можно использовать в видеопроекционных устройствах персонального типа нового поколения.

## **PASSIVE MATRIX LIGHT EMITTING MICRODISPLAYS**

A.S. MOHAMMED, Y.U. MUKHA, A.A. STSIAPANAU, A.G. SMIRNOV

### **Abstract**

The construction, technology and main features of passive matrix light emitting microdisplays based on reverse biased Schottki diodes with the structure of nanoporous Silicon-Aluminium are described.

### **Список литературы**

1. *Jaguiro P.* // Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures. 2009. № 41. P. 927–930.
2. *Hubarevich A., Mukha Y., Smirnov A. et. al.* // Quantum Electronics & Optoelectronics. 2010. Vol. 13, № 3. P. 294–297
3. *Jaguiro P., Stsiapanau A., Hubarevich A. et. al.* // Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics. 2010. Vol. 13, № 3. P. 305–308.
4. *Smirnov A., Hubarevich A., Stsiapanau A. et. al.* // Abstracts of 15<sup>th</sup> int. Conference on the Science and Technology of Emissive Displays and Lighting and 18<sup>th</sup> Advanced Display Technologies int. Symposium ADT-2010, Russia, September 2010.
5. *Смирнов А., Губаревич А., Степанов А. и др.* // Тез. докл. 2-ой междунар. научн. конф. «Наноструктурные материалы-2010». Украина, Киев, октябрь 2010 г.

UDC 621.397.46

**PASSIVE MATRIX LIGHT EMITTING MICRODISPLAYS**

A.S. MOHAMMED, Y.U. MUKHA, A.A. STSIAPANAU, A.G. SMIRNOV

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics  
P. Brovki, 6, Minsk, 220013, Belarus**Received on April 1, 2014*

The construction, technology and main features of a passive matrix light emitting microdisplay based on the nanoporous silicon/aluminum Schottky structure for personal video projection systems with improved consumer properties are described. The functional control was visually carried out using a specially developed technique and a software and hardware complex, including a test signal generator in the form of a set of test fields and software installed on a personal computer with the Windows XP operating system.

*Keywords:* video projection, microdisplay, functional control.

**Introduction**

There is currently a new round of interest in microdisplay technology as, since 2013, the world's largest corporations Google, Microsoft, Samsung and others have completed development and begun commercial production of various versions of “smart glasses” and mobile telecommunications devices based on them, whose main technical component is microdisplays (see Figure 1). Because the viewing distance is only a few centimeters, the image is perceived by the human eye as “virtual”, corresponding to the full-screen image of a 40-inch television screen from a distance of several meters (see Figure 2). As can be seen from the figure, there is a 300-500 times gain in information display efficiency. There is no doubt that the functionality of “smart glasses” is determined by the software used, but their consumer properties depend primarily on the parameters and characteristics of the microdisplays used in them.

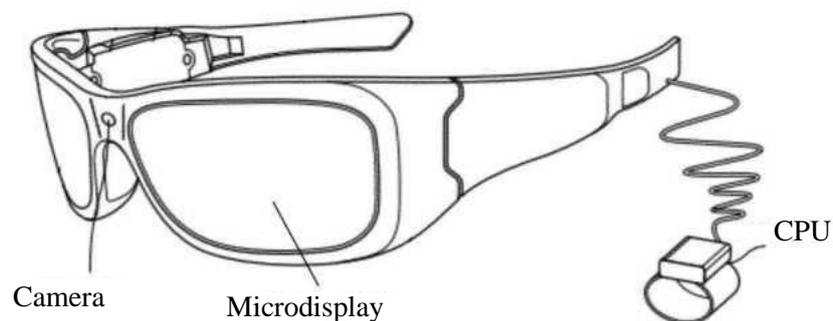


Figure 1. “Smart glasses” of Google (left) and Microsoft (right)

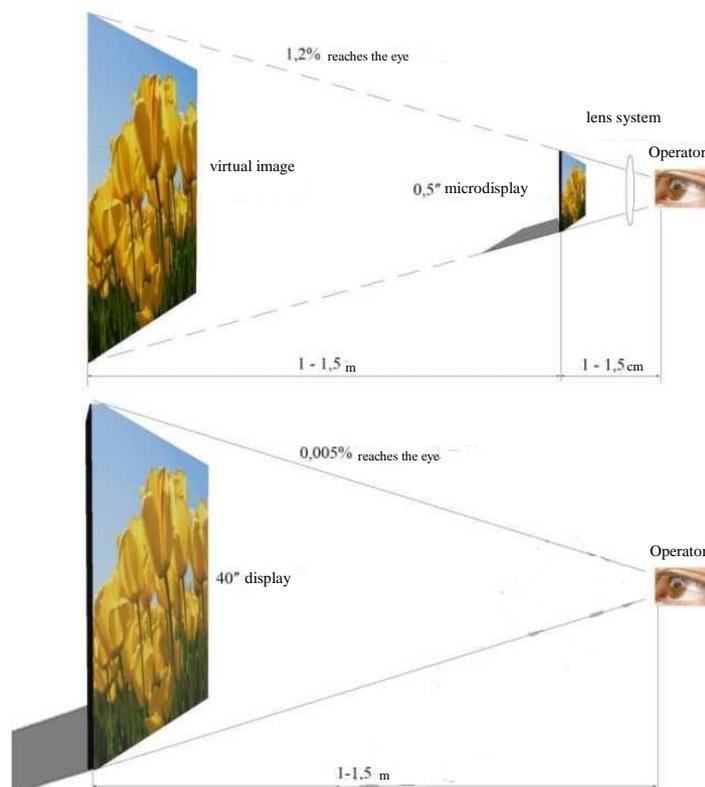


Figure 2. Improving the efficiency of displaying information using microdisplay technologies

This paper presents the results of development and research of passive matrix light emitting microdisplays based on low-voltage Schottky electroluminescent nanoporous silicon/alumina structures.

The electroluminescence in silicon with a quantum efficiency of  $\sim 10^{-8}$  was first obtained in the 1950s. Subsequently, it was found that creating an array of quantum dots or filaments by self-forming silicon nanostructures during electrochemical treatment in hydrofluoric acid solutions greatly increases the electroluminescence efficiency. An overview of advances in this field is given in [1].

By now inversely shifted (avalanche) diodes on nanostructured silicon have achieved an external quantum efficiency of 1.4%, which opens up prospects for all-silicon high-speed optoelectronic data transmission systems, highly informative microdisplays, etc. However, the physical processes involved in these structures are not yet sufficiently studied, LEDs are optimized by the trial and error method and the results are not always reliably reproducible.

### Passive matrix microdisplays with multiplex control

Nanoporous silicon is a promising material, as it can be used to manufacture fully integrated with control circuits microdisplays with improved functionality and reliability, high ergonomic parameters and acceptable cost [2-4]. Such microdisplays are a matrix of aluminum/nanoporous silicon Schottky diodes (Fig. 3), effectively emitting in the visible spectrum when the reverse voltage is applied at a few volts. Their main advantage is the minimum size of the display elements (pixels), high resolution and speed, the ability to use standard silicon CMOS technology under the existing design standards, which ensures their low cost with almost zero initial investment in the production base.

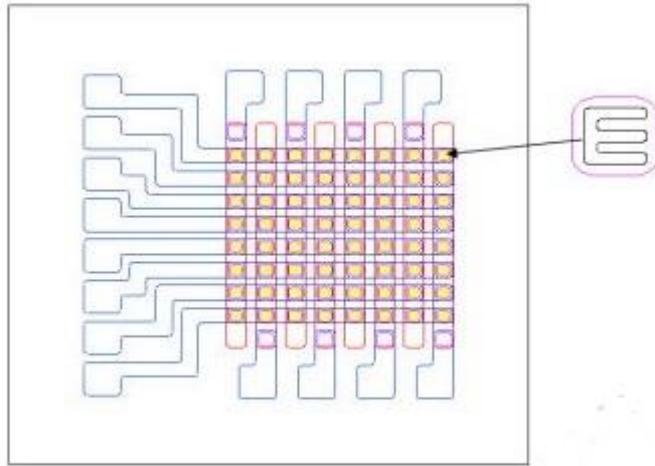


Figure 3. Topology of the microdisplay test chip

It should be noted that light emitting microdisplays (LED, OLED) have a number of fundamental advantages over liquid crystal LCOS microdisplays, as they are significantly faster compared to LCD cells, allowing for highly informative passive matrix microdisplays with high image quality.

A short response time and operation at high current densities make it possible to implement efficient multiplexing and, as a result, to create low-cost highly informative passive-marker microdisplays. For example, at the operating current density  $J = 7,000 \text{ A/cm}^2$ , active area of the radiating surface  $A^2 = 0.6 \times 0.6 \text{ cm}$ , bias voltage  $V = 8 \text{ V}$ , external energy efficiency  $\eta = 0.3\%$  and radiation power  $W = 0.2 \text{ mW}$ , it is possible to achieve a multiplexing level  $M$  equal to  $M = (J \cdot V \cdot \eta \cdot A^2) / W = 302,400$ , which corresponds to the VGA microdisplay resolution format. For a 10 ms address cycle, the time response of each pixel should be  $\sim 30$  nanoseconds, which is easily achieved in silicon light emitting diodes. At this level of multiplexing, it is possible to directly display video information (as in CRTs) without additional memory chips and the use of specific drivers.

In BSUIR Research Laboratory 4.7, to create highly stable silicon avalanche LEDs, the Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> electrode system is traditionally used on top of nanoporous silicon. Technologically, this system is formed by aluminum deposition and subsequent anodization through a photoresist mask. The main advantages of this technology are:

- use of low-temperature processes;
- vacuum cleaning of the porous silicon layer during preparation and deposition of Al;
- complete isolation of the porous silicon layer from external influences by the Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> film.

In the process of developing and manufacturing test crystals for passive matrix microdisplays based on nanoporous silicon, problems were solved related both to the features of light emitting elements (increased breakdown voltage, “dead” current in the initial section of the ampere-brightness characteristic, radiation output along the electrode perimeter), and with the features of the functioning of the passive matrix display as a whole (the problem of current supply to individual LEDs via a narrow long bus bar, the problems of shielding radiation and shifting the voltage-brightness characteristics, the problem of creating a large number of high-current switches to control the passive matrix, etc.). The external view of the test crystal and the active structure in cross section are shown in Fig. 4 and 5.

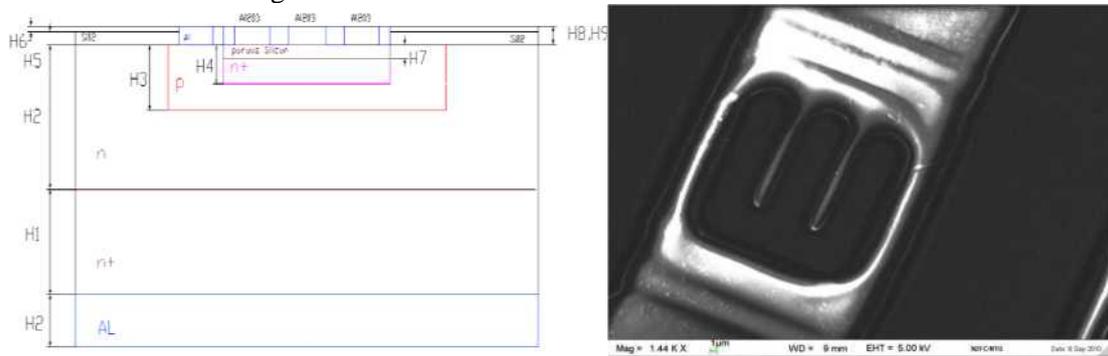


Figure 4. Active structure of the microdisplay test chip in cross section

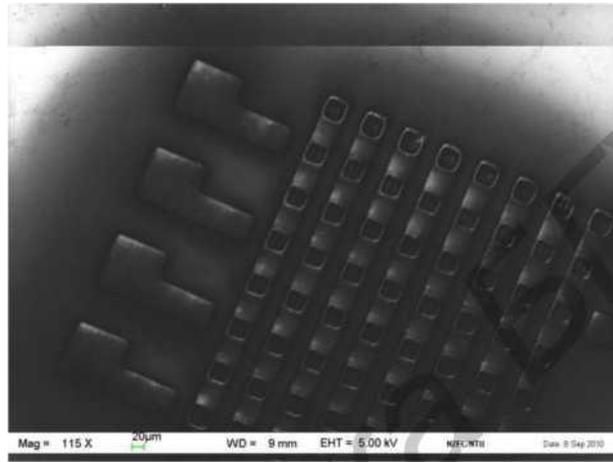


Figure 5. Appearance of the microdisplay crystal

The main feature of this structure is a specially formed nanostructured aluminum layer as a Schottky diode top electrode, which has a transparency of 65-70% [5,6] and low resistivity of 100 Ohm/sq.

### Technology of formation of layers of nanoporous silicon

The standard technological method for the formation of nanostructured porous silicon as a functional layer for light emitting optoelectronic devices is electrochemical etching (anodizing) in concentrated hydrofluoric acid [5], which has such significant drawbacks as a short etching time (several seconds to obtain thin nanoporous layers), high toxicity for operators and the aggressive effect of hydrofluoric acid on plating. In this work, for the formation of stable and reproducible layers of nanoporous silicon, we for the first time used a hydrofluoric acid salt solution of the composition  $\text{NH}_4\text{F}:\text{H}_3\text{PO}_4:\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}:\text{H}_2\text{O}$  with an ultra-low concentration of fluorine ions. The addition of ethanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) to the solution makes it possible to effectively wet the silicon surface, which increases the reproducibility of the process, and the addition of phosphoric acid ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) makes it possible to control the level of fluorine ions in the solution and obtain uniform porous layers over the entire anodizing surface. The use of ammonium fluoride ( $\text{NH}_4\text{F}$ ) reduces the level of toxicity to an absolutely safe limit for operators, and also minimizes the aggressive effect on the plating of devices.

The dependence of pore size in  $\text{NH}_4\text{F}:\text{H}_3\text{PO}_4:\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}:\text{H}_2\text{O}$  solution on  $\text{NH}_4\text{F}$  concentration at a current density of  $J = 0.1 \text{ mA/cm}^2$  is shown in fig. 6. It can be seen that as the concentration of  $\text{NH}_4\text{F}$  increases from 5 to 25 wt%, the pore size decreases from 20 to 10 nm. At the same time, the porous layers have a spongy structure and porosity in the range of 70-80 %.

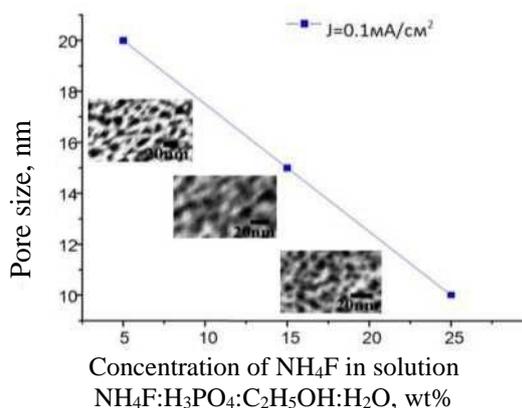


Figure 6. Dependence of the pore size on the concentration of  $\text{NH}_4\text{F}$  in a solution of  $\text{NH}_4\text{F}:\text{H}_3\text{PO}_4:\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}:\text{H}_2\text{O}$

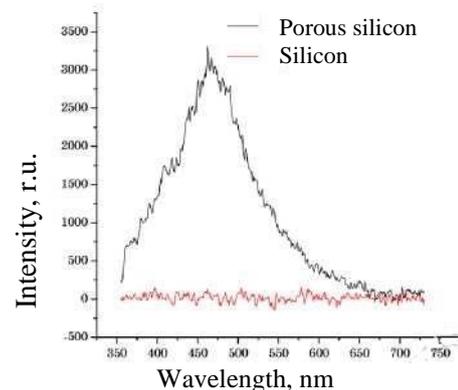


Figure 7. Photoluminescence spectra of nanoporous and single-crystal silicon

The photoluminescence spectra of nanoporous and single-crystal silicon are shown in Fig. 7. As can be seen from the figure, the photoluminescence peak for nanoporous silicon lies in the blue region (460 nm).

### Process optimization

Table 1 shows the sequence of optimized process steps for the fabrication of a nanoporous silicon-based light emitting matrix microdisplay test crystal compatible with standard CMOS technology.

### Technological route and main parameters of the structure

Structure elements		Thickness, microns	Conductivity type	Material used		Surface resistance	Resistivity Ohm*cm
Name	Symbol			Name	GOST, OST, TU		
Substrate	H1	255±20	<i>n</i>	Alloy additive - antimony	-	-	0.01
Epitaxial layer	H2	13 ± 1.5	<i>n</i>	Alloying additive - phosphorus	-	-	3.0±0.3
Base	H3	3.2±0.5	<i>p</i>	Boron fluoride	OST 6-02-4-83	250±50	-
Emitter	H4	2.0±0.81	<i>n</i>	Phosphorus trichloride of special purity	ETO.035.290 TU	3-7	-
Oxide	H5	0.7 ± 0.07	-	Silica	—	-	-
Protective layer (STFSS)	H6*	0.2 - 0.27	-	Tetraethoxysilane OSCh.14-50P-1 Phosphoric acid trimethyl ester	TU6-09-5230-85 TU6-09-3473-78	-	-
Silicon anodizing in n-pockets	H7	0.4 - 0.6	<i>n</i>	NH <sub>4</sub> F:H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> :H <sub>2</sub> O solution in various ratios	-	-	-
Metallization	H8	1.0 - 1.2	-	Aluminum cylindrical ingots A995 250X400 H AK blank 1.0 270x120x238 K	GOST 1943 7-81 Yeo. 021.157TU	-	-
Aluminum anodizing	H9	1.0 - 1.2	-	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> :H <sub>2</sub> O solution in various ratios	-	-	-

The following basic parameters of the emitting structures have been achieved:

- minimum spatial resolution of 12x12 μm;
- operating voltage of -5 to -8 V;
- operating speed of 5 to 30 ns;
- operating current density up to 7,000 A/cm<sup>2</sup> per pulse;
- luminance of radiation not less than 20 Cd/m<sup>2</sup>
- external efficiency not less than 1 %;
- service life not less than 7,000 hours.

Thus, passive matrix light emitting microdisplays based on silicon avalanche LEDs can be considered as real competitors in the market of personal video projection information display devices.

### Conclusion

This article describes the design, technology and basic parameters of passive matrix microdisplays based on inverse Schottky diodes with nanoporous silicon/aluminum structure. Particular attention is paid to the process of nanoporous silicon layers formation of desired thickness, possessing high porosity, spongy structure with nanoscale pores, which allows their effective use in light-emitting optoelectronic devices of various purposes.

The unique parameters of silicon light emitting diodes enable the construction of inexpensive passive matrix high-informative microdisplays on their basis, which can be used in personal video projection devices of a new generation.

## PASSIVE MATRIX LIGHT EMITTING MICRODISPLAYS

A.S. MOHAMMED, Y.U. MUKHA, A.A. STSIAPANAU, A.G. SMIRNOV

### Abstract

The construction, technology and main features of passive matrix light emitting microdisplays based on reverse biased Schottky diodes with the structure of nanoporous Silicon-Aluminum are described.

### Bibliography

1. *Jaguiro P.*// Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures. 2009. No. 41. P. 927-930.
2. *Hubarevich A., Mukha Y., Smirnov A. et. al.*// Quantum Electronics & Optoelectronics. 2010 Vol. 13, No. 3. P. 294-297
3. *Jaguiro P., Stsiapanau A., Hubarevich A. et. al.*// Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics. 2010 Vol. 13, No. 3. P. 305-308.
4. *Smirnov A., Hubarevich A., Stsiapanau A. et. al.*// Abstracts of 15th int. Conference on the Science and Technology of Emissive Displays and Lighting and 18th Advanced Display Technologies int. Symposium ADT-2010, Russia, September 2010.
5. *Smirnov A., Gubarevich A., Stepanov A. et al.*// Abstracts of the report of the 2nd International Scientific Conference “Nanostructural materials-2010”. Ukraine, Kyiv, October 2010

We, Translation Agency “Manzhur”, hereby confirm the accuracy and completeness of the translation from Russian to English of the attached document. We certify the correctness of the translation only. We do not certify the authenticity or content of the original document. This document includes 12 pages.

Kovalionok E., manager



Signed on January 23, 2023 in Minsk

Translation Agency  
MANZHUR  
UNP 191286509 OKPO 379577675000  
49 Nezavisimosti Ave., office 420  
Minsk, 220005, Belarus  
www.manzhur.by  
manzhur@tut.by, manzhur\_by@mail.ru  
Tel. +375 29 603-81-51 (Viber, WhatsApp)



#### Translation Agency “Manzhur”

49 Nezavisimosti Ave., office 420, 220005 Minsk,  
+375 29 603-81-51 (Viber, Whatsapp, Telegram), +375 33 631-96-58  
E-mail: manzhur@tut.by, manzhur\_by@mail.ru  
www.manzhur.by

