

**Диханбаев К.К., Мусабек Г.К., Толендиулы С.**

*Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан*

*E-mail: dkadyrjan@mail.ru*

### **Светоизлучающие диоды на основе пористого кремния**

**Аннотация.** В настоящий момент существует необходимость создания светоизлучающих диодов на основе пористого кремния, обладающих интенсивностью излучения в видимой области. В настоящей работе рассмотрена актуальность исследовательского направления, предложен метод создания светодиода на основе сэндвич структуры с пористым кремнием и созданы опытные образцы, были исследованы их электро- и фотолюминесцентные и вольт-амперные характеристики.

**Ключевые слова:** электролюминесценция, фотолюминесценция, светоизлучающий диод, вольт-амперная характеристика.

#### **Введение**

В настоящее время ведутся интенсивные исследования по совершенствованию полупроводниковых приборов, по применению для них новых материалов. В связи с этим большое внимание в последнее время уделяется исследованию пористого кремния – материала, получаемого в результате анодного травления монокристаллического кремния, в растворе фтористоводородной кислоты.

Пористый кремний как материал значительно отличается от исходного кристаллического кремния (ПК) и характеризуется высоким значением удельного сопротивления, а также высокой химической активностью и большой удельной поверхностью. Особое внимание посвящено исследованию тонких слоев пористого кремния вследствие обнаруженного явления сильной фотолюминесценции в видимой области спектра при комнатной температуре [1].

Процесс электрохимического травления кремния в растворах фтористоводородной кислоты является, достаточной степени технологичен и может быть легко включен в технологию производства микросхем, оптоэлектронных устройств. Таким образом, сочетание свойств интенсивной фотолюминесценции (ФЛ) и высокой поглощательной способности пористого кремния открывают путь светоизлучающих устройств на основе кремневой технологии [2].

Фактором, влияющим на интенсивность ФЛ пористого кремния, является состояние (степень) окисления поверхности, так как это влияет на химическую активность структуры ПК и постепенного залечиванию оборванных связей ПК. Следовательно, стабильность поверхность ПК и ее ФЛ достигается путем дополнительного окисления поверхности ПК, покрывающего весь внутреннюю сторону нанокристаллитов ПК [3].

В частности в работе [4] в анодном окислении ПК, полученном из пластины кремния n-типа, обнаружен фотоиндуцированный рост люминесценции, в другой работе [5] зарегистрирован 18% рост интегральной интенсивности ФЛ и сдвиг максимума спектральной интенсивности ФЛ в коротковолновую область спектра, в течение 20 минут облучения образца. Таким образом, основным фактором повышения интенсивности ФЛ ПК является длительное воздействие возбуждающего излучения.

Для изготовления светоизлучающего диода из ПК необходимо нанесение на поверхности окисленного кремния полупрозрачного металлического контакта на основе барьера Шоттки и формирования омических контактов к лицевым и тыльным слоям. Существует ряд работ, по созданию электролюминесцентных структур из пористого кремния, в которых в качестве поверхностно-барьерного покрытия используют полупрозрачные металлические контакты из золота [6] и алюминия [7].

### Методика эксперимента

Для создания структур использовались кремниевые монокристаллические подложки n - типа проводимости, с удельным сопротивлением 2-3 Ом·см с кристаллографической ориентацией (100). На тыльной поверхности был осажден сплошной Al контакт, с последующим отжигом в вакууме 500°C в течение 5 минут.

Пористый кремний был сформирован способом электрохимического анодирования в электролите, содержащем HF, изопропиловый спирт и воду в соотношении 1:2:1 при плотности тока 5 мА/см<sup>2</sup> и в течение 20 минут. Затем поверхность пористого кремния дополнительно окисливалась в растворе KNO<sub>3</sub> и деионизованной воды, в режиме электрохимического анодирования при плотности тока 1 мА/см<sup>2</sup> в течение 60 минут и во избежание нарушения границы инжектирующего слоя и улучшения поверхностной пассивации прибора, просушивалась красной лампой в течение 10 минут,

Предварительно, перед нанесением прозрачного металлического контакта поверхность окисленного ПК активировалась промывкой в растворе, содержащем PdCl<sub>2</sub>, KCl и воду, при температуре раствора 30-35°C.

Осаждение прозрачного проводящего слоя серебра на поверхности ПК проводилось в вакууме методом термического испарения металлического серебра. Готовая структура была отожжена при температуре 200°C в течение 3 минут. Подложка со структурой Ag/por-Si/n-Si была разделена на кусочки, затем на лицевую сторону был осажден точечный контакт из сплава Вуда.

Конструкция изготовленного электролюминесцентного прибора со структурой Ag/por-Si/n-Si/Al показана на рисунке 1.

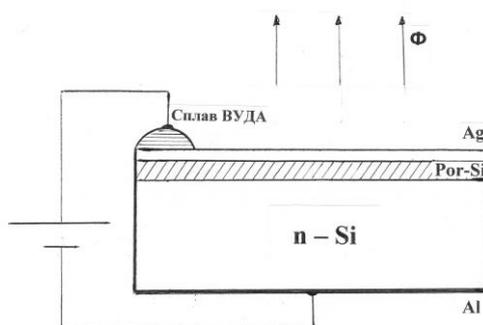


Рисунок 1 – Конструкция электролюминесцентного прибора

Вольтамперная характеристика электролюминесцентного образца с пористым кремнием была измерена на установке Л2-56.

Спектры фотолюминесценции и электролюминесценции, опытного образца снимались при комнатной температуре на установке КСВУ – 23 с фотоумножителем ФЭУ -28. Также был снят спектр фотолюминесценции первоначального образца пористого кремния, и проведено сравнение со спектрами электролюминесценции полученных образцов пористого кремния в диапазоне длин волн 500 – 800 нм.

### Результаты эксперимента

Предварительно измерялись спектры фотолюминесценции (ФЛ) образцов окисленного пористого кремния без барьерного покрытия в диапазоне длин волн от 500 до 750 нм. Степень пористости ПК была измерена гравиметрическим методом, и составила 60-65%. Спектр фотолюминесценции окисленного ПК показан на рисунке 2.

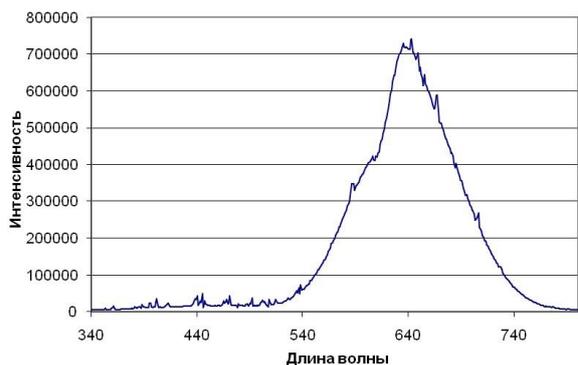


Рисунок 2 – Спектр фотолюминесценции слоя окисленного пористого кремния

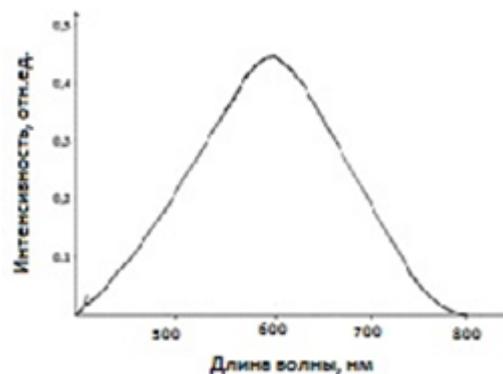


Рисунок 3 – Спектр электролюминесценции структуры Ag/por-Si/n-Si после нанесения барьерного покрытия из серебра

Пик спектра ФЛ расположен на длине волны  $\lambda=640$  нм, с полушириной 70 нм, при относительной интенсивности фотолюминесценции в видимой области спектра. Люминесцирующее излучение возникло при приложении напряжения 15 В и тока 5 мА. ВАХ показывает кривую с четким выпрямлением, присуще диодным структурам с пробойным напряжением при 20 В.

Спектр электролюминесценции полученных структур Ag/por-Si/n-Si показан на рисунке 3. Максимум интенсивности спектра электролюминесценции расположен на длине волны  $\lambda=595$  нм, более коротковолновой области, чем в спектре ФЛ.

Вольтамперная характеристика показана на рисунке 4.

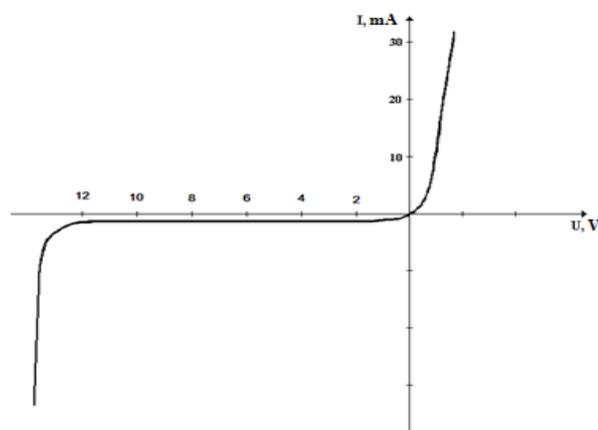


Рисунок 4 – Вольтамперная характеристика светоизлучающего диода на основе пористого кремния

### Заключение

В заключение отметим, что нам удалось создать структуру светоизлучающего устройства Ag/por-Si/n-Si/Al. При этом был использован электролит, содержащий смесь HF/изопропиловый спирт/вода, улучшающий равномерность покрытия пористого кремния. При регулировании низкотемпературного отжига был создан главный барьерный переход Ag /por-Si и контактная система. Наличие электролюминесценции в диапазоне длин волн 550-750 нм с максимумом спектра при 595 нм указывает, на то, что испускаемое излучение находится в оранжевой области спектра.

### References

1 Canham T. //Appl. Phys. Lett., 57, 1990. - P. 1046-1048.

2 Kuznetsov V.A., Andrienko I., Haneman D., Electro J. Photo and Scanning Tunneling-Luminescence Studies of LED Porous Silicon // J. of Por. Mat., -2000. №7, - P. 125-130.

3 Beliakov L.V., Goriachev D.N., Sresly O.M. Photorespon and electroluminescence structures Si/por-Si/ Metal chem. deposited // J. FTS, 2000, V. 34,- 11, - P. 1386-1389.

4 Pavesi L., Ceschini M., Roman H. Recombination dynamics in Porous Silicon // Thin Solid Films, 1995, V. 255. - P. 67-69.

5 Shatkovskiy Ye., Vertsinskiy YA. Fotolyuminescentsiya v poristom kremnii pri intensivnom lazernom vzbuzhdenii // FTT, 1997, T. 31. - S. 593-596.

6 Fauchet P.M., Tsybeskov L., Duttgupta S.P. Stable photoluminescence and electroluminescence from porous silicon // Thin Solid Films, 1997. 297. - P. 254-256.

7 Pavesi L., Guardini R., Bellutti P. Porous Silicon n-p emitting diode // Thin Solid Films, 1997. - P. 272-275.

**Диханбаев К.К., Мусабек Г.К., Толендиұлы С.**

### **Кеуек кремний негізінде жасалған жарық диоды**

Қазіргі таңда спектрдің көрінетін облындағы интерсивті сәуле шығару қабілетіне ие болатын кеуекті кремнийнің негізіндегі жарық шығару диодтарды жасау қажеттілігі бар. Осы жұмыста зерттеуші бағыттың өзектілігі қарастырылған, кеуекті кремний бар сэндвич құрылымның негізде жарық диодын жасауының әдісі ұсынылған және тәжірибелі үлгілер жасалған, олардың фото – және электролюминесценттік және вольт-ампер сипаттамалары зерттеген.

**Түйін сөздер:** электролюминесценция, фотолюминесценция, жарықтандырушы диод, вольт-амперлік сипаттама.

**Dikhanbayev K.K., Mussabek G.K. Tojendiuly S.**

### **Porous silicon based light emitting diodes**

At the moment there is a need to create light-emitting diodes based on porous silicon, with the intensity of radiation in the visible region. In this paper we consider the relevance of the research direction, the method of creating light-emitting diode based on a sandwich structure with porous silicon and created prototypes, their electro-and photoluminescence and current-voltage characteristics have been investigated.

**Keywords:** electroluminescenc, photoluminescence, light-emitting diode, current–voltage characteristic.