

УДК 539.216:621.371

**З.Ж. Жанабаев, М.К. Ибраимов, Е. Сагидолда, М.А. Алимова, С.А. Шинбулатов**  
(Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы)

### **ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОРАЗМЕРНЫХ ПЛЕНОК ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ**

**Аннотация.** Исследованы электрофизические свойства пленок пористого кремния, полученного методом электрохимического травления монокристаллического кремния p-типа проводимости в смеси плавиковой кислоты и этилового спирта. Разработана эквивалентная схема, описывающая электрические свойства наноструктурированных пленок пористого кремния. Описаны нелинейные электрические свойства нанопленок пористого кремния в зависимости от температуры.

**Ключевые слова:** пористый кремний, электрохимическое травление, нелинейные свойства, наноструктуры.

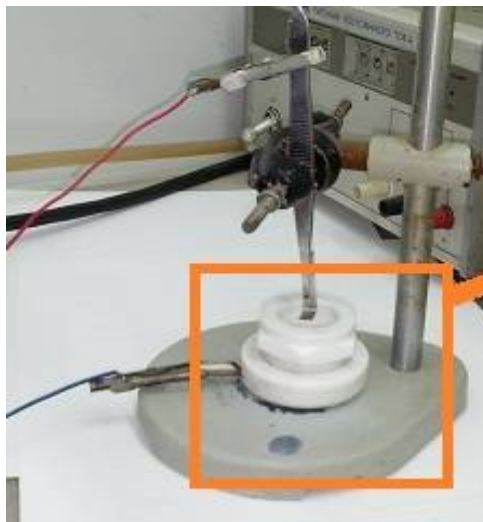
#### **Введение**

Наноструктуры на основе кремния имеют большой потенциал использования в таких отраслях, как нанoeлектроника и оптоэлектроника благодаря отличным физико-химическим свойствам. На сегодняшний день хорошо изучены физические и химические свойства различных наноструктур на основе кремния [1, 2]. Однако изучение электрических свойств наноструктур на основе кремния на сегодняшний день остается актуальной задачей.

С этой целью представляет интерес исследование нелинейных электрических свойств нанопленок с фрактальной, кластерной структурой, где структура потенциального барьера является сложной [3]. Целью настоящей работы является исследование электрических свойств пленок с кремниевыми нанонитями.

#### **Экспериментальная установка**

Тонкие пленки пористого кремния были получены методом электрохимического травления в электролите [4], содержащего этанол в соотношении HF:ЭЭ - 1:1,5 (рис. 1). В качестве исходной подложки были использованы готовые p/n структуры, где концентрация n-слоя составляла  $10^{18} \text{ см}^{-3}$ .



**Рис. 1.** Механизм для травления

#### **Результаты и обсуждение**

Вольт-амперные характеристики (ВАХ) измерялись по специальной схеме универсальной станции NI ELVIS II<sup>+</sup>. Диапазон внешнего смещения обеих полярностей составлял 1.5 В, измерения проводились с шагом 0.05 В. При проведении температурных измерений образец находился в изолированной камере от внешних прямых воздействии.

На рис. 2 приведены типичные ВАХ структур пористого кремния, сформированного на n-Si, для интервала температур 30-120°C. При более высоких температурах нелинейные свойства теряются, и кривые ВАХ остаются практически симметричными для двух направлений. Однако дифференциальная электрическая проводимость нанопленки меняется нелинейно в зависимости от температуры (рис.3).

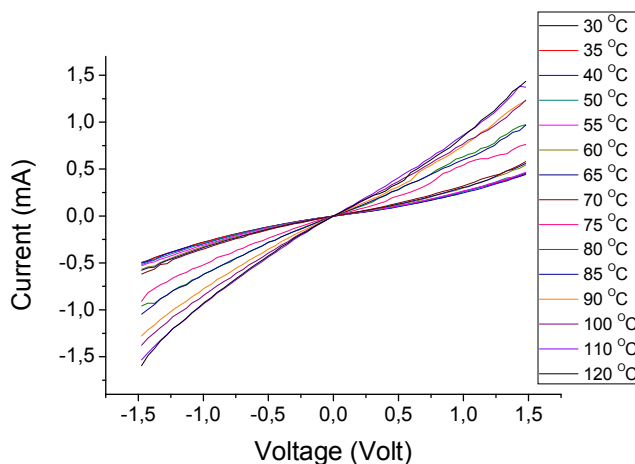


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики в зависимости от температуры

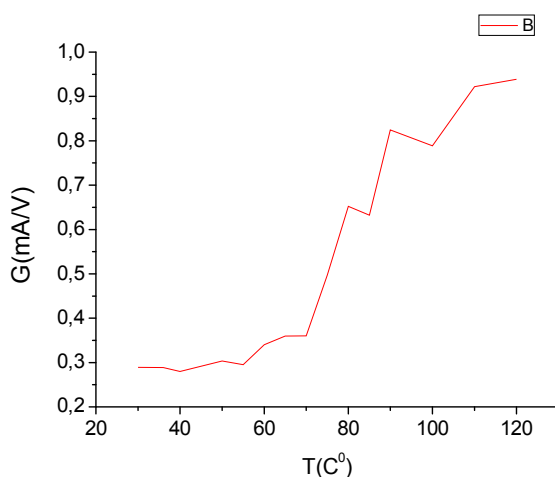


Рис. 3. Изменение проводимости нанопленки пористого кремния в зависимости от температуры

Для дальнейшего анализа и апробации полученной наноструктурированной пленки пористого кремния требуется создать схематехническую модель. С этой целью мы создали схематическую модель пленки пористого кремния, которая обладает электрофизическими свойствами варистора. Модель представлена с двумя противоположно соединенными диодами, а также с последовательно и параллельно соединенными резисторами (рис. 4).

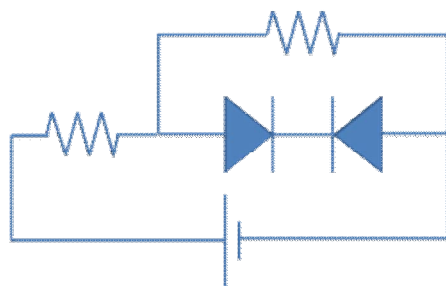


Рис. 4. Схематехническая модель нанопленки

Для получения ВАХ разной формы можно управлять параметрами диода и резисторов. К примеру, в таблице 1 приведены основные характеристики диода, в результате которого можно описывать характеристики нанопленки.

Таблица 1. Параметры диода D1, D2.

IS	Ток насыщения, А	5.95e-006
RS	Паразитное сопротивление, Ом	2.677
N	Коэффициент идеальности	1.231
TT	Время перехода, с	5.76e-007
EG	Энергия активации, эВ	1.11
XTI	Температурный коэффициент тока насыщения	3
KF	Коэффициент шума	0
AF	Показатель шума	1
BV	Напряжение обратного пробоя, В	0.026

Ток насыщения  $I_s$  не является постоянным для каждого диода, но зависит от температуры.

Коэффициент идеальности  $N$  обычно лежит в пределах от 1 до 2, в зависимости от процесса изготовления и полупроводникового материала. Во многих случаях предполагается, что  $N$  примерно равно 1.

$XTI$  - температурный коэффициент тока насыщения (3 для диодов с  $p-n$  переходом и 2 для диодов с барьером Шоттки)

$BV$  - напряжение обратного пробоя.

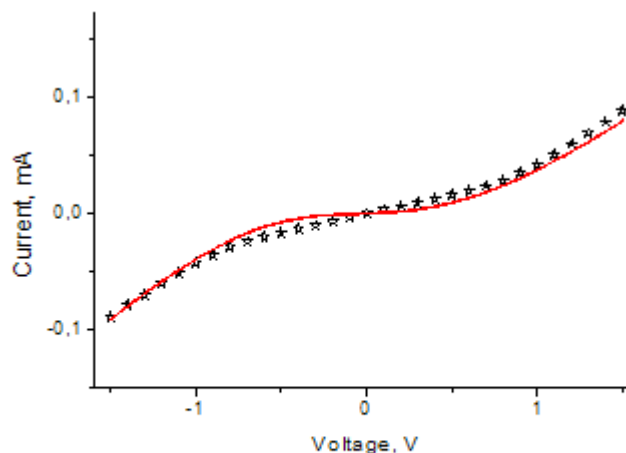


Рис. 5. Вольт-амперные характеристики нанопленки  
(— - физический эксперимент, ☆ - схематическая модель)

На рис. 5 кривые соответствуют экспериментальным результатам ВАХ нанопленки. Параметры сопротивления  $R_1$ ,  $R_2$  были равны 25 Ом и 5 Ом соответственно. Значения сопротивления можно менять в зависимости от вида ВАХ. Коэффициент идеальности  $N = 1.231$  и  $RS = 2.677$ . Мы видим, что наша схематическая модель удовлетворительно описывает экспериментальные результаты.

**Заключение**

В результате исследовательской работы получены наноструктурированные пленки пористого кремния методом электрохимического травления. Показано, что нанопленки пористого кремния имеют свойства варистора, и способ получения является сравнительно простым и не требует дополнительных усилий. Экспериментально показано, что нелинейные свойства зависят от температуры, также проводимость нанопленки меняется нелинейно с ростом температуры.

Построена схематическая модель нанопленки пористого кремния. Управляя параметрами двух противоположно расположенных диодов и дополнительных резисторов можно описывать вольт-амперные характеристики варистора на основе наноструктурированных пористых структур кремния.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ищенко А.А., Фетисов Г.В., Асланов Л.А. Нанокремний: свойства, получение, применение, методы исследования и контроля. – М.: Физматлит. – 2011. – 647 с.
2. Foll, H., Christophersen M., Carstensen J., Hasse G. Formation and application of porous silicon // Materials Science and Engineering R. – 2002. – Vol. 39. – P. 93.
3. Z.Zh.Zhanabaev, M.K.Ibraimov, E.Sagidolda. Electrical properties of fractal nanofilms of porous silicon // Eurasian Physical Technical Journal, 2013 Vol. 10, No.1(19)
4. Жанабаев З.Ж., Ибраимов М.К., Сагидолда Е. Исследование электрических свойств наноструктурированных пленок пористого кремния // Известия НАН РК. – 2013. – В. 4. – С. 34-38.

REFERENCES

1. Ishchenko A.A., Fetisov G.V., Aslanov L.A. Nanokremniy: svoistva, poluchenie, primeneniye, metody issledovaniya i kontrolya. – M.: Fizmatlit. – 2011. – P. 647.
2. Foll, H., Christophersen M., Carstensen J., Hasse G. Formation and application of porous silicon // Materials Science and Engineering R. – 2002. – Vol. 39. – P. 93.
3. Z.Zh.Zhanabaev, M.K.Ibraimov, E.Sagidolda. Electrical properties of fractal nanofilms of porous silicon // Eurasian Physical Technical Journal, 2013 Vol. 10, No.1(19)
4. Zhanabaev Z.Zh., Ibraimov M.K., Sagidolda E. Investigation of electrical properties of nanostructured porous silicon films // Proceedings NAS of RK. – 2013. – V. 4. – P. 34-38.

З.Ж. Жанабаев, М.К. Ибраимов, Е. Сагидолда, М.А. Алимова, С.А. Шинбулатов

**Наноөлшемді кеуекті кремний қабыршағының электрофизикалық қасиеттері**

Монокристаллды n-типі өткізгішті кремнийді этил спирті мен қышқыл ерітіндісінде электрохимиялық өңдеу әдісімен алынған кеуекті кремний қабыршағының электрофизикалық қасиеттері зерттелді. Наноқұрылымды кеуекті кремний қабыршағының электрлік қасиеттерін сипаттайтын эквивалентті схема жасалынды. Кеуекті кремний наноқабыршағының температураға байланысты бейсызық өзгеру қасиеттері бақыланды.

**Кілт сөздер:** кеуекті кремний, электрохимиялық өңдеу, бейсызық қасиеттер, наноқұрылымдар.

Z.Zh. Zhanabaev, M.K. Ibraimov, E. Sagidolda, M.A. Alimova, S.A. Shinbulatov

**Electrophysical properties of nanoscale porous silicon films**

The electrophysical properties of porous silicon grown by electrochemical etching of n-type conductivity monocrystalline silicon in a mixture of hydrofluoric acid and ethyl alcohol were investigated. Developed equivalent circuit describing the electrical properties of nanostructured porous silicon films. Described non-linear electrical properties nanofilms porous silicon versus temperature.

**Key words:** porous silicon, electrochemical etching, nonlinear properties, nanostructures.

УДК 37.016.02:004:371.26

**Маханова А.С., Базаева Ж.Б.**

(Қазақ мемлекеттік қыздар педагогикалық университеті Алматы қ.,  
Қазақстан Республикасы, [bzhh@mail.ru](mailto:bzhh@mail.ru))

**ISPRING SUITE БАҒДАРЛАМАСЫНЫҢ КӨМЕГІМЕН POWERPOINT-ТА  
ЭЛЕКТРОНДЫ ОҚУ КУРСТАРЫН ҚҰРУ**

**Аннотация.** Бүгінде еліміздегі электронды оқыту жағдайы белсенді даму үстінде. Электронды оқытудың (e-learning) құрылу кезеңі біздің елімізге қарағанда шет елдерде ертерек басталды. Дүние жүзіндегі осы сала мамандары электронды оқытуды құру аумағында көптеген тәжірибелер жинақтаған. Нарықта e-Learning-ге қатысты электронды курс құру құралдары (authoring tools) және қашықтан оқыту жүйелері (Learning Management Systems, LMS) сияқты программалық құралдардың көптеген түрлері кездеседі. Бүгінгі күнге дейінгі электронды оқу курстарының көптеген түрлері Microsoft PowerPoint бағдарламасында жасалынып келді. Бұл құрал қолдану жағынан өте қарапайым және интербелсенді, мультимедиалық контентті құру үшін көптеген мүмкіндіктер ұсынады. Алайда, Microsoft PowerPoint бағдарламасының мүмкіндіктері толыққанды электронды курс құру үшін жеткіліксіз. Электронды курс форматы қашықтан оқыту жүйесінде жүктелуін үшін SCORM немесе AICC стандарттарымен үйлесімді болу керек. Дүниежүзілік нарықтағы eLearning-ке арналған программалық қамтамалар PowerPoint мәліметтер қорында электронды курстарды құруға арналған құралдарды