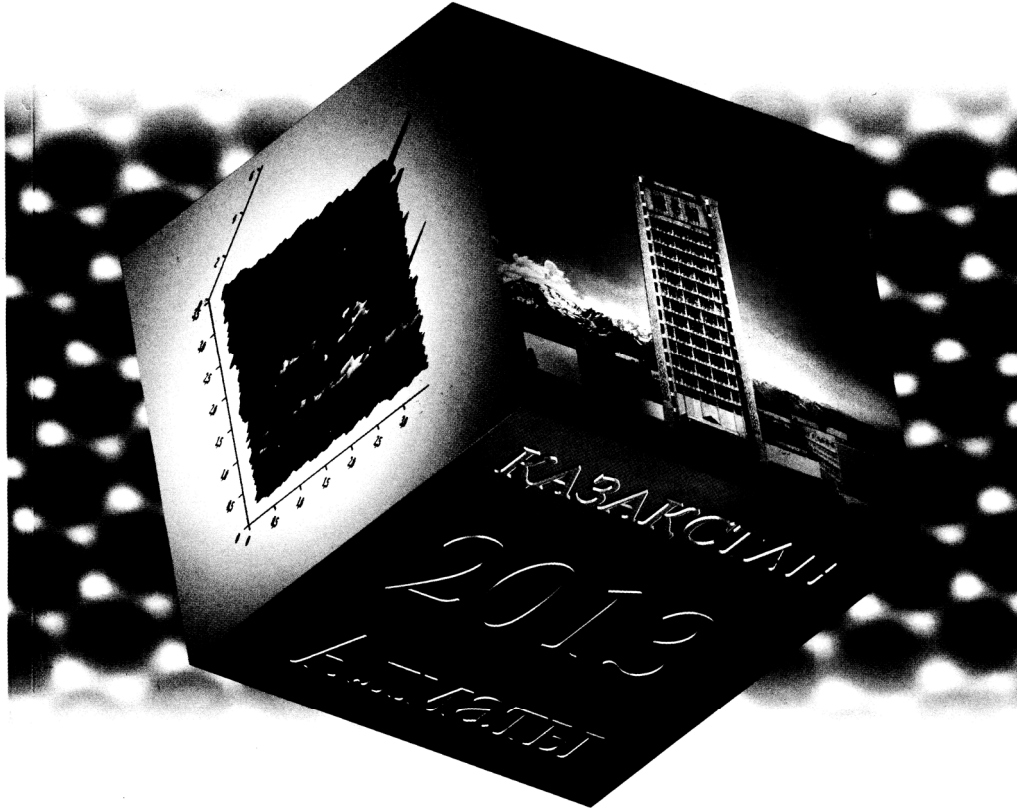


Қазақстан Республикасы Білім және Ғылым Министрлігі әл-Фараби атындағы
Қазақ ұлттық университеті Мәскеу болат және қорытпалар институты
Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан Мемлекеттік техникалық
университеті Жану проблемаларының институты

The Proceedings of **X INTERNATIONAL CONFERENCE**

“Advanced technologies, equipment and analytical systems
for material sciences and nanomaterials”



“Материалтану мен наноматериалдарға арналған перспективалық
технологиялар, жабдықтар және аналитикалық жүйелер”

“Перспективные технологии, оборудование и аналитические
системы для материаловедения и наноматериалов”

Almaty, Republic of Kazakhstan Алматы қ., Қазақстан Республикасы

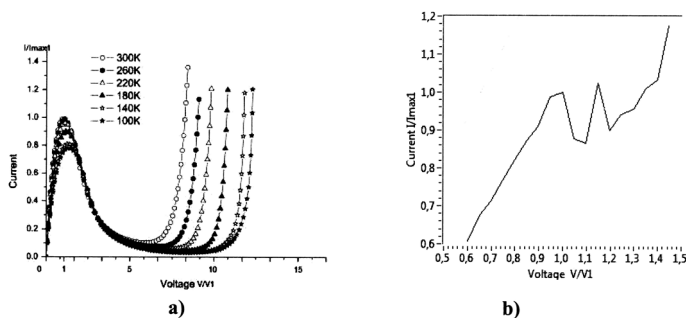


Рисунок 6. Вольтамперные характеристики с отрицательным дифференциальным сопротивлением: а) N – типа туннельного диода [11], $I_1=1,0\text{mA}$, $V_1=0,06\text{V}$. б) для нанопленки ПК. $I_1=0,029775\text{mA}$, $V_1=1,515161\text{V}$.

Вольтамперные характеристики нанопленок имеют осцилляционные пики (рис.6, б). Уменьшение силы тока с ростом напряжения означает существование структур с отрицательным дифференциальным сопротивлением. Обычно этот эффект объясняется явлением туннелирования электронов через потенциальный барьер. В пленке пористого кремния имеются квантоворазмерные точечные, линейные, плоские структуры с различными потенциалами электрического поля. Из-за просачивания электронов через эти потенциальные барьеры, согласно соотношению неопределенностей, уменьшается число состояний, допускающих электрический ток. Это приведет к уменьшению силы тока и образованию пика в вольтамперной характеристике, хотя напряжение возрастает. С дальнейшим ростом напряжения образуются другие пики, обусловленные наличием структур с более высокими потенциальными барьерами.

Наряду с этим вольтамперные характеристики наноструктурированной пленки пористого кремния и обычных туннельных диодов имеют существенные различия (рис.6). Наши эксперименты показывают, что расстояние между пиками (в относительных единицах напряжения) на порядок меньше и пики более острые, имеют резонансный характер. Эти факты и рисунки 1-3 направляют на мысль о том, что нанопленки имеют фрактальное строение с иерархическими структурами различных геометрических масштабов. Соответствующие потенциалы электрического поля могут рассматриваться как нелинейные фрактальные меры [12,13,14].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Cullis, AG., Canham, LT. & Calcott, PDJ. (1997) The structural and luminescence properties of porous silicon, J App Phys, Vol 82, No 3, pp 909-965
- [2] Canham, L, Editor (1997a.) Properties of porous silicon, INSPEC - The Institution of Electrical Engineers ; United Kingdom.
- [3] Foll, H., Christophersen, M., Carstensen, J. & Hasse, G. (2002) Formation and application of porous silicon, Materials Science and Engineering R Vol. 39, pp. 93
- [4] Parkhutik V (1999) Porous silicon – mechanism of growth and applications. Solid-state Electron. Vol.43, pp. 1121-1141
- [5] Vasquez, RP., Fathauer, RW., George, T., Ksendzov, A. & Lin, TL. (1992) Electronic structure of light emitting porous Si, Appl Phy Lett, Vol. 60, No. 8, pp. 1004-1006
- [6] Beale, M. I. J., Benjamin, J. D., Uren, M. J., Chew, N. G. & Cullis, A. G. (1986) The formation of porous silicon by chemical stain etches, J. Crys. Growth Vol. 75, pp. 408.
- [7] Zubko, V.G., Smith, T.L. & Witt, A.N. (1999) Silicon Nanoparticles and Interstellar Extinction, The Astrophysical Journal Letters, Vol. 511, pp. L57.

В вольтамперной характеристике тонкой пленки ПК имеется нелинейно меняющаяся область тока по напряжению в интервале от 2В до 4В. В районе напряжения 2В ток резко падает на несколько единиц и до 4В наблюдается осцилляция тока. Дальше возрастает с ростом приложенного напряжения.

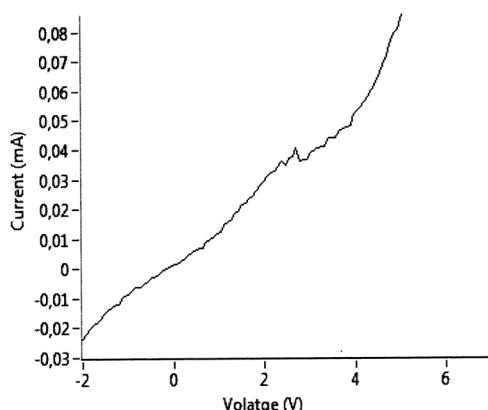


Рисунок 4 - Вольтамперная характеристика образца тонкой пленки пористого Si.

Чтобы подробно исследовать нелинейную область мы уменьшили интервал напряжения и получили в различных измерениях характеристики, показанные на рисунке 5.

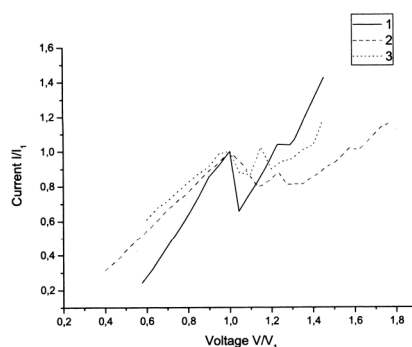


Рисунок 5. Вольтамперные характеристики, в относительных переменных. I_1 , V_1 – сила тока и напряжение, соответствующие первому пику. V_1 : 1-1,706909V, 2-2,077985V, 3-1,515161V; I_1 : 1-13,765041mA, 2-6,266812mA, 3-0,029775mA.

При повторении опытов (после прохождения тока значительной силы) в вольтамперных характеристиках уменьшается глубина минимума тока (рис.5).

Обсуждение результатов

Известно, что нелинейные элементы, у которых зависимость тока от напряжения имеет участок, где дифференциальное сопротивление (производная от напряжения по току) отрицательное, играют немаловажную роль в электронике и измерительной технике[10].

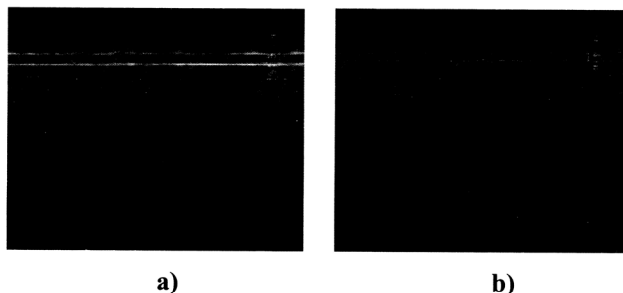


Рисунок 2 - Микрофотография пористого кремния, полученная с помощью РЭМ: а) ближе к центру б) край пористого кремния

Рисунок 2 получен от боковой поверхности тонкого протравленного слоя пленки ПК. Пленка не является однородной. Присутствуют поры. Более темным цветом изображена аргоновая среда. Две светлые линии ограничивают боковую поверхность пленки. Внизу – изображение кристаллического кремния. Толщина пленки меняется от 80 нм до 200 нм из-за неравномерности плотности тока. В дальнейшем была исследована морфология пористой пленки с помощью сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ) NTegra Thermo.

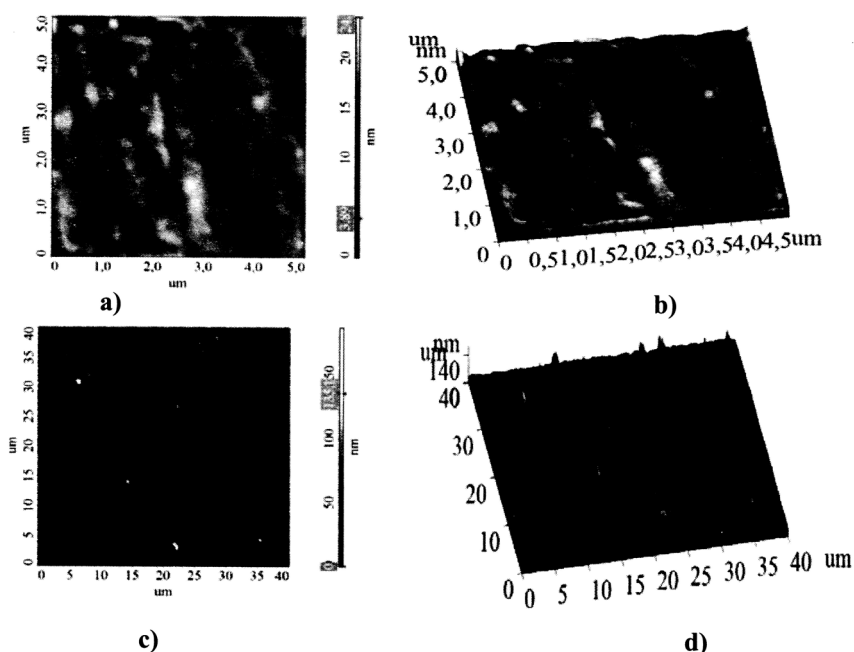


Рисунок 3. Результаты сканирующей зондовой микроскопии: а) двумерное изображение пленки ПК, разрешение 5:5 мкм; б) трехмерное изображение пленки ПК, разрешение 5:5 мкм; в) двумерное изображение пленки ПК, разрешение 40:40 мкм; г) трехмерное изображение пленки ПК, разрешение 40:40 мкм;

Согласно результатам СЗМ наблюдается сильная неоднородность поверхности пленки ПК. Также можно заметить, что на поверхности пленки присутствуют нитеобразные выступы.

Для исследования электрических свойств пленки наносились контакты на поверхности ПК. Изучены закономерности протекания тока через неоднородную структуру поверхности ПК. На рисунке 4 показана вольтамперная характеристика ПК, при этом напряжение на тонкую пленку подавалось от -2В до 5В с шагом 0,1В.

НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОСТРУКТУРИРОВАННОЙ ПЛЕНКИ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ

З.Ж. Жанабаев, М.К. Ибраимов, Е. Сагидолда
КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Республика Казахстан

Исследованы образцы пленок пористого кремния, полученные методом электрохимического травления. Изучена морфология с помощью сканирующей зондовой микроскопии NTegra Theta. Установлено, что на электрические свойства тонких пленок пористого кремния очень сильно влияют различные факторы, например, сила тока, проходящего через пленку. Вольтамперная характеристика пористого кремния имеет сильно нелинейную, хаотическую область в определенном интервале напряжения. Зависимость тока от напряжения, соответствующая многократному туннелированию электронов, может быть использована для создания генераторов хаоса с широкополосным спектром.

Несмотря на то, что пористый кремний (ПК) был открыт во второй половине 50-х годов прошлого века, на сегодняшний день остается одним из актуальных объектов исследования в нанотехнологии в связи с широкой областью его применения. В работах [1,2] можно получить более подробную информацию о ПК. Сведения о формировании и применении ПК приведены в работах [3,4]. Существуют множество методов получения ПК [5,6,7], каждый из которых имеет свои достоинства и недостатки. Известно, что оптические свойства ПК определяются толщиной, формами и размерами пор, а также пористостью пленки [8]. Электрические свойства поверхности наноразмерного ПК изучены менее детально. Работа [9] посвящена электрическим свойствам ПК, который был получен методом электрохимического травления в электролите HF и C₂H₂OH (1:1). Время травления составляло 15 минут и пленки ПК имели толщину порядка нескольких микрон. Целью нашей работы являлось изучение электрических свойств наноразмерных пленок ПК, которые были получены при длительности травления около 5 секунд.

Экспериментальные результаты

Тонкие пленки пористого кремния были получены методом электрохимического травления в электролите, содержащего этансиэтанол в соотношении HF:ЭЭ - 1:1,5. В качестве исходной подложки были использованы готовые *p/n* структуры, где концентрация *n* – слоя составляла $10^{18} \div 10^{19} \text{ см}^{-3}$.

Были получены микрофотографии с помощью оптического и растрового электронного микроскопов.

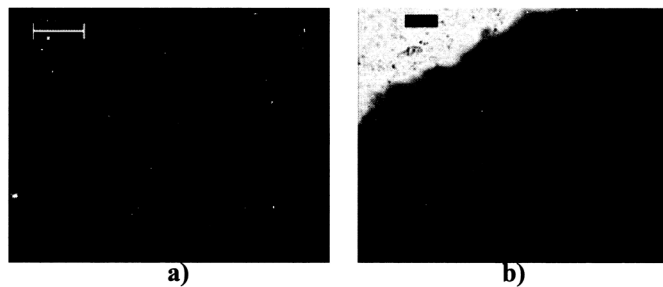


Рисунок 1 - Результаты оптической микроскопии: а) поверхность центральной части пленки пористого кремния; б) граница между пленкой кристаллического кремния и его протравленной областью (темный цвет).

На рисунке 1,б показан край пористой области пленки. Ближе к центру пористость растет, цвет пленки переходит в черно-коричневый. Иначе говоря, толщина пленки меняется. Чтобы более точно оценить толщину, образцы были исследованы с помощью растровой электронной микроскопии (РЭМ).

-
- [8] Andrea Edit Pap, Krisztian Kordas, Jouko Vahakangas, Antti Uusimaki , Seppo Leppavuori, Laurent Pilon, Sandor Szatmari (2006) Optical properties of porous silicon. Part III: Comparison of experimental and theoretical results, *Optical Materials* 28 (2006) 506–513
- [9] G. Algun, M.C. Arkan, An Investigation of Electrical Properties of Porous Silicon, *Tr. J. of Physics*, 23 (1999) , 789 - 797.
- [10] MaoXiang Wang, , JianHua Yu1, ChengXiu Sun, Light emission characteristics and negative resistance phenomenon of Si-based metal/insulator/semiconductor tunnel junction//*Applied Surface Science* Volume 161, Issues 1–2, 1 July 2000, Pages 9–13
- [11] S. Al-Harhi, A. Sellai, Features of a tunnel diode oscillator at different temperatures, Original Research Article *Microelectronics Journal*, Vol38, September 2007, 817-822
- [12] Zhanabaev Z. Zh. Fractal measures in nanoelectronics and neurodynamics // *Eurasian Physical Technical Journal*, 2012. – V.9, No.1(17) – P 3-13.
- [13] Z. Zh. Zhanabaev, T.Yu. Grevtseva, T.B. Danegulova, G.S. Asanov. Optical Properties in Nanostructured Semiconductor // *Journal of Computational and Teoretical Nanoscience*.-2013
- [14] Z. Zh. Zhanabaev, E.T.Kozhagulov. A generic model for scale-invariant neural networks // *Journal of Neuroscience and Neuroengineering*.-2013 (in press)