

## РЕЛАКСАЦИЯ ТОКА В МИКРОПОРИСТОМ КРЕМНИИ

Обнаружена релаксация тока в образцах микропористого кремния, темп которой зависит от величины приложенного напряжения и состава газовой атмосферы. Обсуждается возможный физический механизм наблюдаемого явления.

В настоящее время в физике и технологии полупроводниковых материалов формируется новое направление — наноэлектроника [1]. Особое место в исследованиях наноразмерных структур занимает пористый кремний (ПК), физические свойства которого интенсивно изучаются [2]. Создание новых полупроводниковых приборов на основе пористого кремния требует изучения электронных и адсорбционных свойств этого материала и представляет актуальную в прикладном и теоретическом аспектах задачу.

## Методы изготовления образцов и измерения

Образцы пористого кремния были получены методом анодного электрохимического травления кристаллического кремния марки КДБ-10 <111> в водном растворе фтористоводородной кислоты при плотности тока 10—15 мА/см<sup>2</sup>. При продолжительности травления 10—20 минут были получены слои ПК толщиной 7—13 мкм при средней пористости 35—60%. На поверхность ПК напыляли газопрозрачные контакты щелевого типа из алюминия [3]. Исследовали влияние адсорбции газов на электронные параметры материала в планарном режиме в области температур 293 К. Концентрация газа в измерительной камере изменялась методом газодинамического разбавления исследуемого газа с газом носителем с помощью газогенераторов серии ГР-ОЗМ (производства "Аналитприбор", г. Киев). В качестве газа-носителя был выбран азот особой чистоты, который не оказывает влияния на электрические свойства пористого кремния [4].

## Результаты и их обсуждение

На полученных образцах ПК серии 10 при приложении напряжения больше некоторой пороговой величины  $U_0 \sim 0,4$  В после предварительного термоотжига в вакууме при температуре 523 К наблюдали нарастающую релаксацию тока, временные зависимости которой с ростом напряжения

представлены на рис. 1, кривых 1—4. Впуск в измерительную камеру воздуха приводил к увеличению величины  $U_0$  и снижению темпа нарастания тока при тех же значениях напряжения (рис. 2, кривые 1—4). Из газов, входящих в состав воздуха,

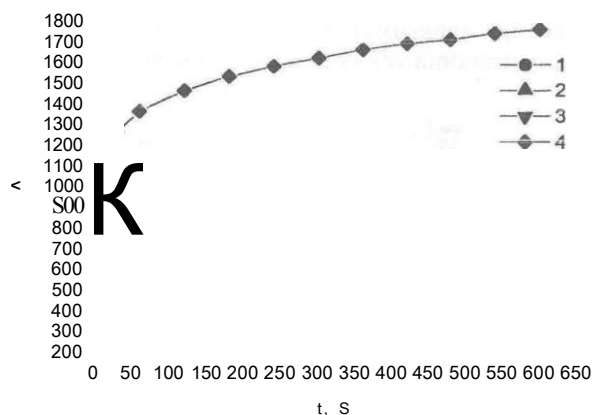


Рис. 1. Кинетика нарастания тока в структурах ПК в вакууме после отжига при напряжениях на планарных контактах 0,6 В (1), 1,2 В (2), 1,8 В (3), 2,4 В (4). Температура измерений — комнатная

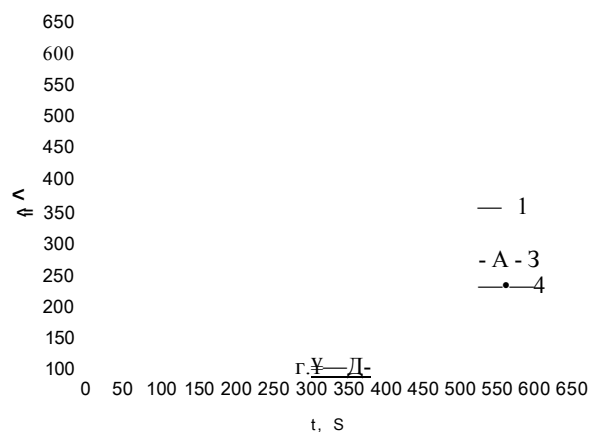


Рис. 2. Кинетика нарастания тока в структурах ПК после впуска влажного воздуха при напряжениях на планарных контактах 0,6 В (1), 1,2 В (2), 1,8 В (3), 2,4 В (4). Температура измерений — комнатная

кислород и азот являются электрически нейтральными для ПК и только водяные пары оказывают влияние на величину электропроводности пористого кремния [3].

В [5] обнаружено появление электродвижущей силы, природа которой связывается с наличием встроенных микрополей в неоднородной структуре материала, величина которой изменяется при освещении и адсорбции полярного газа. Образование встроенного поля происходит на стадии анодной электрохимической обработки кремния [6], что приводит к сильной флюктуации потенциала вдоль поверхности материала [7]. При локализации заряда  $We$  ( $e$  — заряд электрона) в минимумах потенциальной энергии вблизи формируются значительные электрические поля, достигающие значений  $10^5 \text{V/cm}$  [8]. Одной из особенностей ультра дисперсных частиц малого размера является уменьшение способности электронов экранировать электростатические поля, вследствие чего наблюдается увеличение радиуса взаимодействия между электронами [9].

Для ультра дисперсных сред согласно модели Хила [9] в зависимости от приложенного напряжения величина тока описывается формулой:

$$I(F, r) = \frac{M \cdot 10^4 \cdot C \cdot \sin^2 \frac{feV}{i}}{2 \cdot (AS \cdot ft_n \cdot \sin^2 i \cdot B_k T)} \cdot X \cdot \exp\left(-\frac{bE}{kT}\right) \cdot \exp(-1,03A5(m \cdot \mu)^{1/2}),$$

где  $bE = bE_0 - qP^{1/2}$  — энергия активации в сильном электрическом поле, зависящая от величины электрического поля,  $DS$  — расстояние между ультрадисперсными частицами. В нашем случае нитевидные кластеры кремния включены последовательно в планарном режиме измерений. Вследствие разных размеров пор структура пористого кремния является крайне неоднородным вдоль поверхности. Пространственное квантование электронного энергетического спектра приводит к собственным значениям энергии электронов и дырок, зависящим от поперечного размера нитей [10]. Это приводит к появлению в структуре материала микробарьеров, ограничивающих движение тока.

Рост тока при появлении напряжения на контактах ПК можно было объяснить уменьшением параметра  $bE$  в результате перераспределения микрополей в структуре материала. При адсорбции полярного газа изменяется структура микрополей в микропористом кремнии [4]. В этом случае величина  $bE_0 - c/Y^{1/2}$  будет изменяться в меньшей степени из за роста параметра  $bE_a$ .

На рис. 3 представлено изображение флюктуации потенциала вдоль поверхности ПК в момент подключения поля (а) и при установлении стабильных показаний тока (б). При появлении напряжения на контактах вследствие неоднородности

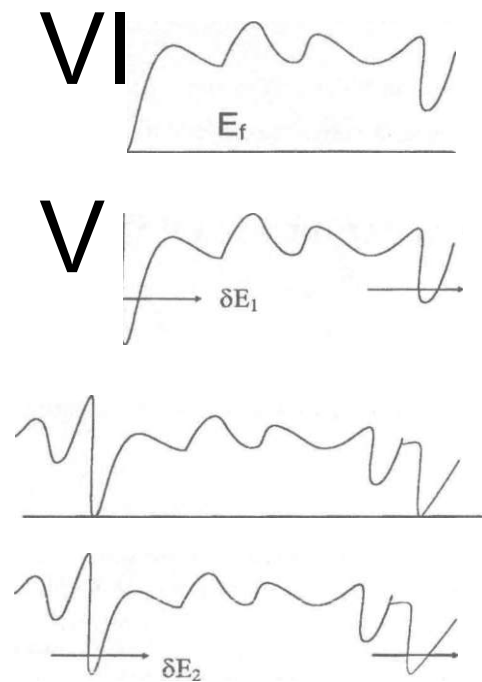


Рис. 3. Флюктуации потенциала в микроструктуре пористого кремния при включении тока (а) и через некоторое время после установления стабильных показаний  $I(U, T)$ .

структуры пористого кремния напряжение падает на отдельные микронеоднородные участки со значительным значением флюктуации потенциала, ограничивающие протекание тока вдоль структуры ПК. При размерах неоднородности порядка  $200 \text{nm}$  и  $U = 0,2 \text{V}$  величина электрического поля достигает  $10^5 \text{V/cm}$ , что сопоставимо с величиной внутренних полей в ПК. В области значений напряжения на контактах  $U$  менее  $U_g$  изменения величины  $bE$  практически не происходит, так как электрическое поле не достаточно для изменения  $bE_0$ . В области напряжений на контактах  $U$  более  $U_g$  происходит понижение значений барьера и перераспределение поля по структуре материала (рис. 3, а, б). Согласно этой модели рост напряжения на контактах должен приводить к росту темпа нарастания релаксации, что экспериментально подтверждается (рис. 1, кривые 1—4).

Адсорбция паров воды изменяет внутреннюю микроструктуру полей в материале [5]. При этом релаксация тока при тех же значения напряжения значительно меньше (рис. 2, кривые 1—4). Это возможно вследствие роста параметра  $bE_0$ .

### Выводы

В неоднородных образцах пористого кремния в планарном режиме измерений обнаружена нарастающая кинетика темнового тока, физическая природа которой связана с перестройкой внутренней микроструктуры полей в материале, формируемых в результате анодной электрохимической

обработки кремния. На процессы релаксации тока влияет адсорбция полярных молекул воды, создающие дополнительные микрополя в структуре пористого кремния.

Материалы данной работы докладывались и обсуждались на международной конференции стран СНГ "Дисперсные системы" в г. Одессе в 1998 году.

#### Список литературы

1. *Abstreiter G.* Semiconductor nanostructures — basics and possible applications // European conference MRS'98. — Strasbourg, France. — 1998. — PS-3.
2. *Yakimov A. I., Stepin N. P., Dvurechenskii A. V.* Electron transport in porous silicon // European conference MRS'98. — Strasbourg, France. — 1998. — B11P42.
3. *Ваипанов Ю. А.* // Фотоэлектроника. — 1996. — №6, — С. 68—71.
4. *Wy-Mian, Tomkiewicz A., Clement C. V.* // J. Appl. Phys. — 1994. — 74. — № 6. — P. 3635—3639.
5. *Ваипанов Ю. А.* // Письма в ЖТФ. — 1997. — 23. — № 11. — С. 77—82.
6. *Компан М. Е., Шабанов И. Ю.* // ФТП. — 1995. — 29. — Вып. 10. — С. 1859—1869.
7. *Компан М. Е., Новак И. И., Шабанов И. Ю.* // ФТТ. — 1995, — 37. — С. 678.
8. *Vashpanov Yu. A.* // International conference on electron localization and quantum transport in solids. — Jaszwic, Poland. — 1996. — P. 177—178.
9. *Морохов И. Д., Трусов Л. //, Лаповок В. Н.* Физические явления в ультрадисперсных средах. — М.: Энергоиздат. — 1984. — 224 с.
10. *Бреслер М. С., Ясевич И. Н.* // ФТП. — 1993. — 27. — Вып. 5. — С. 871—883.