

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/см². 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,

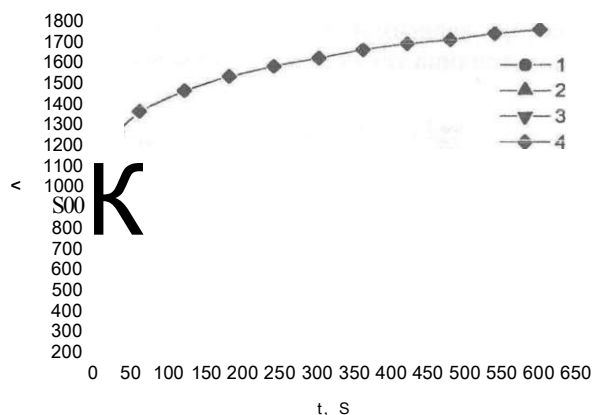


Рис. 1. Кинетика нарастания тока в структурах ПК в вакууме после отжига при напряжениях на планарных контактах 0,6 В (1), 1,2 В (2), 1,8 В (3), 2,4 В (4). Температура измерений — комнатная

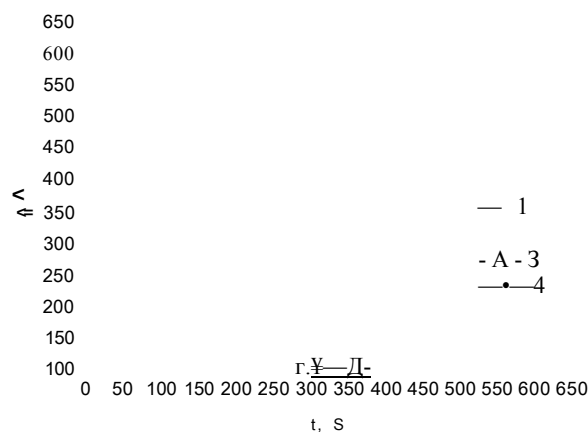


Рис. 2. Кинетика нарастания тока в структурах ПК после впуска влажного воздуха при напряжениях на планарных контактах 0,6 В (1), 1,2 В (2), 1,8 В (3), 2,4 В (4). Температура измерений — комнатная

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 10^5V/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

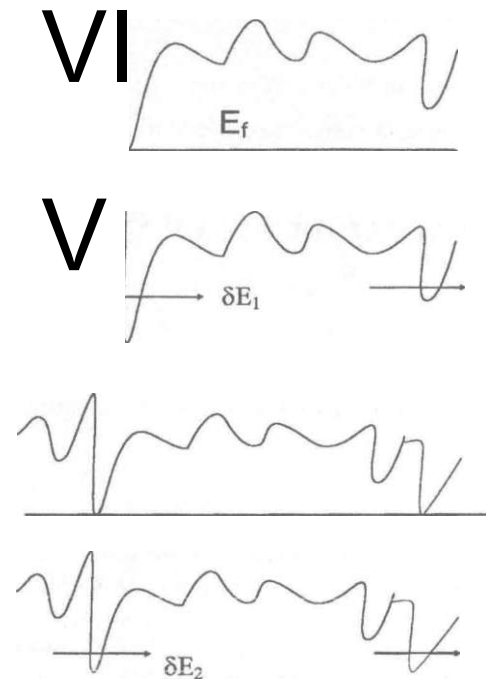


Рис. 3. Флюктуации потенциала в микроструктуре пористого кремния при включении тока (а) и через некоторое время после установления стабильных показаний тока (б).

структуры пористого кремния напряжение падает на отдельные микрон неоднородные участки со значительным значением флюктуации потенциала, ограничивающие протекание тока вдоль структуры ПК. При размерах неоднородности порядка 200 nm и $U = 0,2 \text{ V}$ величина электрического поля достигает 10^5 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. *Вашипанов 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. *Вашипанов 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. — Jaszowic, 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.