

50-я научная конференция МФТИ
Факультет проблем физики и энергетики
Секция физики микроволн и наноматериалов

УДК 538.956:62-405.8

Жукова Е.С.¹, Горшунев Б.П.², Караванский В.А.²

¹ Московский физико-технический институт (государственный университет)

² Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН

**Терагерцовая и инфракрасная спектроскопия
нанопористого кремния**

Пористый кремний (ПК) является перспективным материалом для микроэлектронной технологии и с момента получения первых образцов ПК его свойства постоянно привлекают внимание исследователей [1]. Характерным свойством ПК является то, что большая удельная поверхность и плотное расположение нанокристаллов (НК) предполагают сильную взаимосвязь как между поверхностными и объёмными энергетическими состояниями нанокристаллов, так и между отдельными нанокристаллами. Это, очевидно, должно приводить к зависимости оптических свойств ПК в видимом диапазоне от его свойств в далекой инфракрасной области. В настоящей работе представлены результаты первых измерений электродинамических свойств пористого кремния в области терагерцовых ($7\text{--}12\text{ см}^{-1}$) и инфракрасных ($25\text{--}4000\text{ см}^{-1}$) частот методами диэлектрической спектроскопии, которые позволили получить в отношении пористого кремния данные о размерах нанокристаллов, их форме, пористости, степени пассивации оборванных связей на поверхности нанокристаллов кремния. Целью исследования являлось изучение микроскопических механизмов трансформации спектров диэлектрического отклика «массивного» кремния при изменении его структуры на наноуровне.

Методом дисперсионного анализа экспериментальных спектров коэффициента отражения были получены спектры проводимости и диэлектрической проницаемости ПК (рис. 1). При этом моделирование диэлектрических характеристик ПК проводилось с применением модели эффективной среды Максвелла–Гарнетта, в рамках которой выражение для диэлектрической проницаемости записывается как [2]

$$\varepsilon_{eff} = \varepsilon_m + 3\varepsilon_m f \frac{\varepsilon_i - \varepsilon_m}{(1 - f)\varepsilon_i + (2 + f)\varepsilon_m}, \quad (1)$$

где ε_m — диэлектрическая проницаемость среды, ε_i — диэлектрическая проницаемость включений, f — объёмная доля включений. При обработке спектров отражения исследуемых образцов ПК в качестве включений нами рассматривались нанокристаллы ПК, в роли диэлектрической матрицы рассматривалась комплексная среда,

образующаяся в процессе приготовления образцов ПК и состоящая из пор (воздух), адсорбированных молекул и окислов кремния. Из рис. 1 видно, что спектры проводимости и диэлектрической проницаемости ПК качественно отличаются от спектров исходного массивного кремния. Полученные в результате обработки спектров отражения электродинамические параметры нановключений — частота релаксации носителей γ^* , проводимость σ_0^* и высокочастотная диэлектрическая проницаемость ϵ_∞^* — оказались существенно отличающимися от параметров исходного массивного кремния. Мы считаем, что отличия обусловлены двумя эффектами. Во-первых, это наноразмерный эффект, связанный с дополнительным рассеянием носителей заряда на границах включений, которое нужно учитывать при рассмотрении частоты релаксации. Второй эффект — квантовый размерный эффект, в нашем случае зависимость ширины запрещённой зоны от размеров НК, а также уменьшение эффективной плазменной частоты (здесь — эффективная электронная концентрация) пористого кремния.

Основываясь на полученных результатах по диэлектрическим спектрам ПК, нами схематично представлено, как эволюционируют широкодиапазонные спектры проводимости и диэлектрической проницаемости монокристаллического кремния при трансформации его структуры в нанопористую (рис. 2). Мы полагаем, что описанные характерные особенности, наблюдаемые в диэлектрических спектрах кремния при структурной трансформации «монокристалл Si» — «нанопористый Si», могут носить универсальный для слабо легированных полупроводников характер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зимин С.П.* Пористый кремний. — материал м новыми свойствами // Соросовский образовательный журнал. — 2004. — Т. 8, №1. С. 101–107..
2. *Infrared and millimeter waves / Edited by K.J. Button.* — Orlando: Academic press inc., 1985.

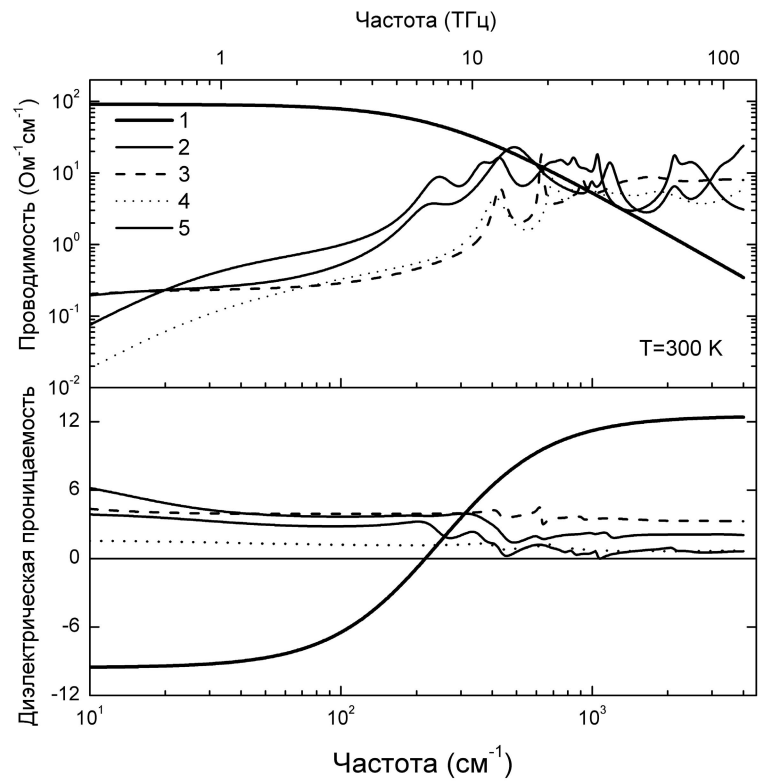


Рис. 1. Частотные зависимости проводимости и диэлектрической проницаемости исходного кристаллического (1) и серии образцов нанопористого кремния (2–5)

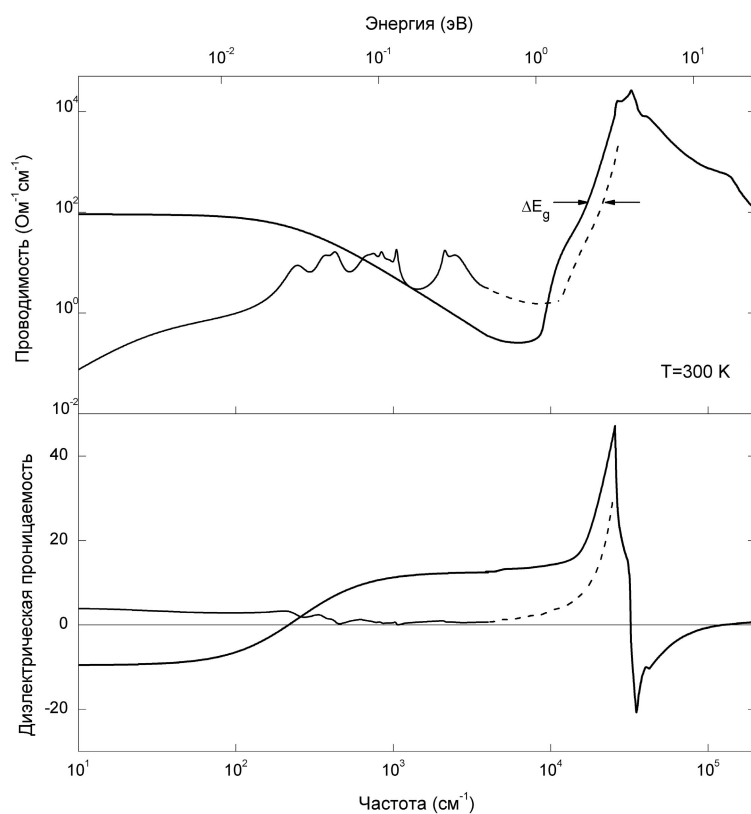


Рис. 2. Панорамные спектры динамической проводимости и диэлектрической проницаемости исходного кристаллического (чёрная линия) и нанопористого (серая линия) кремния

Представленная выше версия доклада является ознакомительной.

Версию доклада, предназначенную для печати, можно найти в факультетском сборнике трудов конференции. Электронные материалы конференции публикуются по адресу http://www.mipt.ru/nauka/conf50/plen_sections/