

Физика наносистем и наноустройства (студенты, аспиранты, молодые ученые).

Задача 7 «Свободные носители заряда в пористом кремнии» (базовая).

Пористый кремний представляет собой совокупность нанокристаллов и пор с размерами от единиц до сотен нанометров. Данный материал является в настоящее время объектом исследований многих научных лабораторий во всем мире, поскольку обладает уникальными структурными, оптическими, электронными и биологическими свойствами. Пористый кремний принято классифицировать в соответствии с принципом IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry), который определяет тип пористого материала в зависимости от размера пор [Rouquerol, J., Avnir, D., Fairbridge, C.W., Everett, et al "Recommendations for the characterization of porous solids", Pure Appl. Chem, 1994. v.66, pp. 1739-1758.] (Табл. 1).

Вид пористого кремния	Размер пор
<i>Микропористый (нанопористый)</i>	≤ 2 нм
<i>Мезопористый</i>	2-50 нм
<i>Макропористый</i>	> 50 нм

Таблица 1 Классификация пористого кремния по размерам его пор.

Недавно было доказано существование равновесных свободных носителей заряда в нанокристаллах мезопористого кремния (мезо-ПК). Так, было обнаружено, что помимо полос локальных поверхностных колебаний в спектрах ИК-пропускания пленок мезо-ПК наблюдается поглощение ИК-излучения, связанное с наличием свободных носителей заряда (СНЗ).

Чем можно объяснить уменьшение концентрации свободных носителей заряда (СНЗ) в нанокристаллах мезопористого кремния по сравнению с объемным кремнием? (1 балл)

На рисунке 1 представлены зависимости коэффициента поглощения α кристаллического кремния (с-Si) и мезо-ПК от длины волны λ ИК-излучения. Зависимости $\alpha(\lambda)$ определялись на основе измеренных спектров пропускания согласно соотношению:

$$\alpha(\lambda) \approx -h^{-1} \ln[T(\lambda)], \quad (1),$$

где h – толщина пленки мезо-ПК, $T(\lambda)$ - пропускание (зависимости $T(\lambda)$ получены экспериментально).

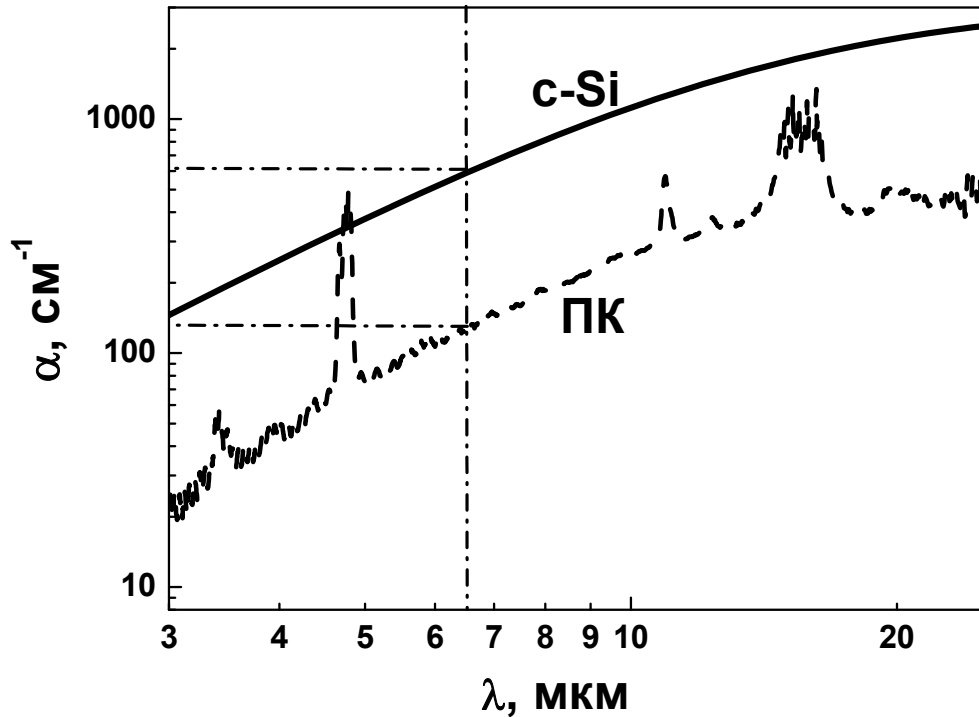


Рис. 1 Зависимость коэффициента поглощения c-Si и мезо-ПК от длины волны ИК-излучения.

Отметим, что спектр пропускания кристаллического кремния был снят при тех же условиях, что и для пористого кремния. Удельное сопротивление кристаллического кремния, зависимость $\alpha(\lambda)$ которого представлена на рис.1, совпадет с удельным сопротивлением подложки c-Si, на которой была выращена пленка мезо-ПК.

Считая, времена рассеяния дырок в нанокристаллах кремния с характерными размерами, далекими от условий квантового размерного эффекта, близки к значениям для подложки c-Si. А также, что характер поглощения для образцов мезо-ПК соответствует классической модели Друде, *определить концентрацию СНЗ в мезо-ПК (3 балла)*, используя для нормировки спектр кристаллического кремния с известной концентрацией носителей заряда, равной 10^{20} см^{-3} .

Для расчета концентрации СНЗ следует воспользоваться следующим выражением:

$$\alpha(\nu) = N_{\text{снз}} \frac{e^2 n \lambda^2}{4\pi^2 c^3 \epsilon_0 m^* \tau}, \quad (2)$$

где $N_{\text{снз}}$ – концентрация СНЗ, n – показатель преломления образца ($n_{\text{c-Si}} = 3.4$, $n_{\text{мезо-ПК}} = 1.7$), τ – время рассеяния квазиимпульса дырок (считать $\tau_{\text{c-Si}} = \tau_{\text{мезо-ПК}}$), величину $A = 4\pi^2 c^3 \epsilon_0 m^* / e^2$ принять равной *const* (здесь m^* – эффективная масса (для свободных дырок в c-Si $m^* = m_p^* = 0.37m_0$, $m_0 = 9.1 \cdot 10^{-31}$ кг; $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м, $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл). Пористость пленки мезо-ПК считать равной 60 %.

Как будет изменяться концентрация СНЗ при термическом окислении образцов мезопористого кремния и почему? (2 балла)

Присутствуют ли СНЗ в микропористом кремнии? (1 балл)

Методические замечания:

1. Задача решается в рамках базовых знаний и здравого смысла
2. Вопросы можно задать в специальном разделе форума <http://www.nanometer.ru/forum/viewforum.php?f=19> или найти ответ самостоятельно (в том числе изучив доступные Вам Лекции на сайте Олимпиады <http://www.nanometer.ru/lectures.html?UP=156195>)
3. Решение оформляется и отсылается только в электронном виде, как описано в инструкциях к работе с задачами и решениями заочного теоретического тура, приведенных в разделе «Олимпиада» http://www.nanometer.ru/olymp2_o4.html
4. Подписывать решения не надо, Ваша фамилия, имя и отчество будут зашифрованы при проверке, идентификация для системы проверки производится по логину и паролю, который Вы вводите при входе на сайт Олимпиады www.nanometer.ru в качестве участника (этот пароль Вы задавали при регистрации и заполнении анкеты участника).