

06;07;12

Спектры поли- и монокристаллического кремния для солнечных элементов, измеренные нестационарной спектроскопией глубоких уровней

© С.М. Киккарин, Б.Н. Мукашев, М.Ф. Тамендаров,
С.Ж. Токмолдин

Физико-технический институт МН АН Казахстана, Алматы

Поступило в Редакцию 18 июля 1996 г.

В работе описаны исследования спектра поли- и монокристаллического кремния для солнечных элементов. Зарегистрированы широкие пики распределений ловушек в кремнии промышленных солнечных батарей. Предполагается, что они связаны с остаточными примесями. Пики подавляются водородной пассивацией.

Поликристаллический кремний в форме лент или слитков — один из перспективных материалов для изготовления солнечных элементов. Однако обычно эффективность солнечных элементов снижена присутствием в кремнии глубоких рекомбинационных центров, дефектов, неконтролируемым образом внесенных в процессе выращивания. Для ограничения этого фактора необходимо идентифицировать природу этих дефектов и разработать методы для пассивации и гетерирования.

Эффект взаимодействия водорода с дефектами и примесями хорошо известен и изучен (см., например, [1,2]). Водород также способен пассивировать границы зерен и дислокации в кремнии [3]. Способность водорода пассивировать дефекты и примеси имеет большое значение для технологии изготовления солнечных элементов, так как позволяет достигать высокой эффективности солнечных батарей, изготовленных из сравнительно дешевого поликристаллического кремния.

Здесь мы докладываем некоторые предварительные результаты, полученные методом емкостной нестационарной спектроскопии глубоких уровней с использованием в качестве объекта исследования образцов поли- и монокристаллического кремния p -типа электропроводности,

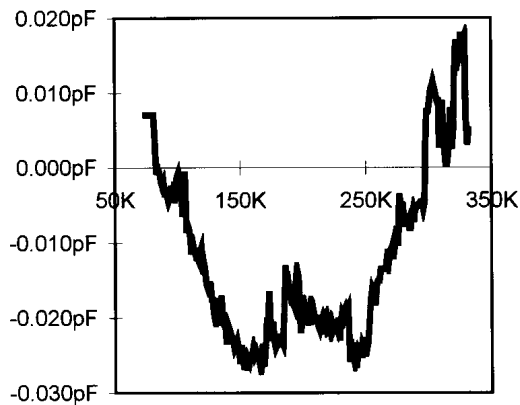


Рис. 1. Спектр нестационарной спектроскопии глубоких уровней, измеренный на n^+p образце поликристаллического кремния. Горизонтальная ось — температура, К. Вертикальная ось — измеренная емкость в пикофарадах.

легированных бором ($N_B \sim 0^{16} \text{ см}^{-3}$), предназначенного для промышленных солнечных элементов.

Для спектрометра нами был разработан и изготовлен высокочувствительный измеритель емкости, который сопрягался с персональным компьютером, оборудованным аналого-цифровым преобразователем с частотой выборок до 200 кГц. Управление спектрометром и схема обработки сигнала были реализованы как "виртуальный прибор" в терминах программного пакета LabVIEWTM for Windows. Используемый спектрометр позволял обнаруживать ловушки на уровне $10^{-5}N_B$, где N_B — концентрация мелкой легирующей примеси. Чувствительность спектрометра ограничивалась в основном качеством n^+p переходов. Для измерений использовались образцы n^+p мезоструктур промышленных солнечных элементов.

Образцы солнечных элементов были подвергнуты пассивированию водородом. Имплантация водорода была проведена из ионного источника типа Кауфмана, при температуре подложки 250°C , энергия ионов в интервале 1–2 кэВ, максимальная доза была около $5 \times 10^{17} \text{ см}^2$.

Спектр, измеренный на n^+p образце поликристаллического солнечного элемента, приведен на рис. 1. Наблюдался широкий пик с

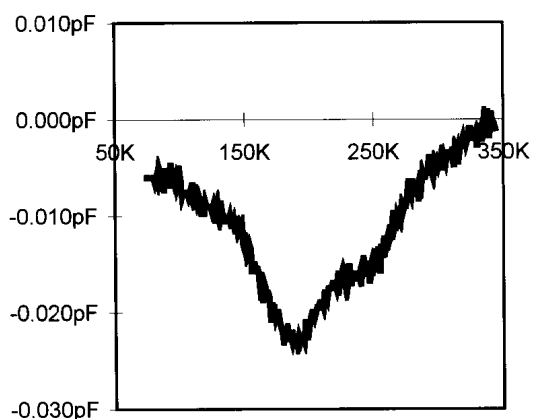


Рис. 2. Спектр нестационарной спектроскопии глубоких уровней n^+p образца монокристаллического кремния. Горизонтальная ось — температура, К. Вертикальная ось — измеренная емкость в пикофарадах.

изрезанной вершиной около температуры в 200 К, ассоциируемый с ловушками для основных носителей, а также и центры рекомбинации для неосновных носителей заряда в высокотемпературной области. Ширина пика свидетельствует о существовании широкого распределения дискретных уровней в запрещенной зоне. Пики совершенно исчезли после гидрогенизации в описанных выше условиях, что свидетельствует об уменьшении концентрации дырочных и электронных ловушек до уровня ниже порога чувствительности использованного спектрометра. Порог чувствительности для исследованных образцов составлял $4 \times 10^{11} \text{ см}^{-3}$. Присутствие ловушек для основных носителей (дырок) в поликристаллическом кремнии p -типа ассоциируется с границами зерен (см., например, [4,5]), а электронные ловушки считаются распределенными по всему объему кремния [6].

Также был измерен спектр n^+p образца монокристаллического кремния солнечных элементов. Спектр приведен на рис. 2. Наблюдался широкий пик с центром около 180 К. Пик свидетельствует о наличии широкого распределения ловушек для основных носителей. Этот пик также полностью отсутствовал в спектре, в пределах чувствительности спектрометра, после описанной выше водородной пассивации.

Таким образом, с помощью высокочувствительного спектрометра при использовании метода емкостной нестационарной спектроскопии глубоких уровней наблюдались широкие пики распределений ловушек в поли- и монокристаллическом кремнии промышленных солнечных батарей. Предположительно пики ассоциируются с остаточными загрязняющими примесями, границами и дефектами роста. Пики подавляются водородной пассивацией. В поликремнии широкий пик предположительно связан с границами зерен. Пик также хорошо пассивируется водородом. В среднем относительное увеличение к.п.д. солнечных элементов после пассивации составляло 20%.

Список литературы

- [1] *Pearlton S.J., Corbett J.W., Shi T.S.* // Appl. Phys. A. 1987. V. 43. P. 153–195.
- [2] *Мукашев Б.Н., Токмолин С.Ж., Тамендаров С.Ж.* // ФТП. 1992. Т. 26. С. 1124–1134.
- [3] *Muller J.C.* et al. // Solar Cell. 1986. V. 17. P. 201–231.
- [4] *Srivastava P.S.* et al. // J. Appl. Phys. 1982. V. 53. P. 8633–8638.
- [5] *Sastry O.S.* et al. // J. Appl. Phys. 1985. V. 57. P. 5506–5511.
- [6] *McLarty P.K., Ioannou D.E., Shea A.P.* // J. Appl. Phys. 1987. V. 61. P. 2672–2674.