

©1994 г.

## ОБНАРУЖЕНИЕ ЦЕНТРА С БОЛЬШОЙ РЕШЕТОЧНОЙ РЕЛАКСАЦИЕЙ В ПЛАСТИЧЕСКИ ДЕФОРМИРОВАННОМ СУЛЬФИДЕ КАДМИЯ

*О.Ф.Вывенко, А.А.Истратов*

Научно-исследовательский институт физики  
при Санкт-Петербургском государственном университете,  
198904, Санкт-Петербург, Россия  
(Получена 26 апреля 1994 г. Принята к печати 25 мая 1994 г.)

Методами емкостной спектроскопии глубоких уровней в пластически деформированном CdS обнаружен мелкий центр с большим барьером для захвата электронов. Свойства этого центра аналогичны свойствам хорошо известного  $DХ$ -центра в полупроводниках  $A^{III}B^V$ .

К настоящему времени установлено, что захват электронов некоторыми центрами в полупроводниках может быть ограничен значительным барьером, близким по высоте к энергии их термоионизации. Такими свойствами, например, обладает известный  $DХ$ -центр в соединениях  $A^{III}B^V$ , который представляет собой атом основного донора в материале, кристаллическая решетка которого искажена атомами твердого раствора или внешним давлением [1].

Появление необычных свойств таких центров объясняется в общем случае большой релаксацией решетки при их перезарядке, в частности для  $DХ$ -центра — неэквивалентностью положения доноров в решетке в пустом и заполненном состояниях. Из общих соображений ясно, что образование центров с аналогичными свойствами возможно и в других бинарных материалах  $n$ -типа проводимости с искаженной кристаллической структурой, например, в полупроводниках с дислокациями.

В настоящей работе представлены экспериментальные результаты, являющиеся первым свидетельством существования центров с большой решеточной релаксацией в дислокационных полупроводниках.

Исследования выполнены на образцах монокристаллов сульфида кадмия методами DLTS [2] и изотермической релаксации емкости с разверткой по частотам DLTS [3] на автоматизированной установке с системой управления криостатом, обеспечивающей стабилизацию заданной температуры с точностью не хуже 0.02 К.

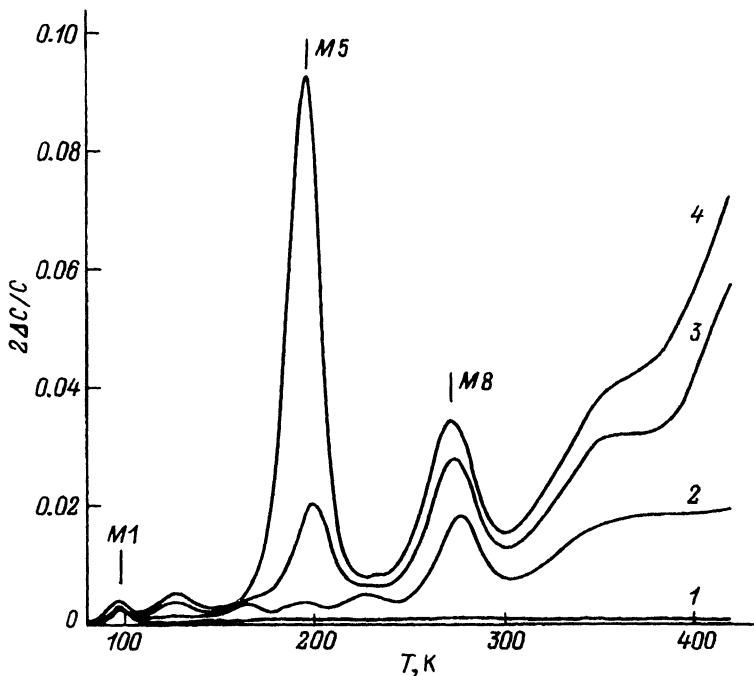


Рис. 1. Спектры сигнала DLTS ( $2\Delta C/C$ ), полученные на поверхности  $(10\bar{1}0)$  образца сульфида кадмия. 1 — исходный образец; 2, 3, 4 — спектры после деформации образца, записанные при длительности заполняющего импульса 1 мкс, 1 мс, 1 с соответственно. Спектры записаны с использованием корреляционной функции lock-in на частоте 1.9 Гц (окно скоростей —  $0.25 \text{ с}^{-1}$ ), напряжение смещения на образце 3 В, амплитуда заполняющего импульса 2.8 В.

Концентрация носителей, определенная из вольт-фарадных характеристик, составляла в исходных образцах порядка  $(2-3) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ , после введения дислокаций падала до  $(8-9) \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ .

На рис. 1 представлен набор спектров DLTS, записанных при различных длительностях заполняющих импульсов на поверхности  $(10\bar{1}0)$  исходного образца (кривая 1) и образца, деформированного методом одноосного сжатия на 4.5% размера образца (кривые 2-4) при ориентации для преимущественного скольжения дислокаций в базисной плоскости. Среди нескольких DLTS-максимумов, возникающих в результате введения дислокаций, при длительности заполняющего импульса более 10 мс доминирующим в спектре становится максимум, обозначенный на рис. 1 как M5. Сравнение спектров, записанных с разным периодом корреляционной функции lock-in, показало, что амплитуда максимума M5 растет с ростом температуры, что свидетельствует о термоактивированном процессе заполнения центров. Энергия активации термоэмиссии носителей, определенная по методу точек пересечения  $[3-5]$ , составила  $E_a = 0.40 \pm 0.01 \text{ эВ}$  при сечении захвата  $\sigma = 5 \cdot 10^{-15} \text{ см}^{-2}$ .

С целью непосредственно определить сечение захвата центров M5 (ответственных за максимум M5) и величину барьера для захвата было проведено исследование кинетики заполнения этих центров в диа-

пазоне температур 150–220 К. При измерениях использовался диапазон длительностей заполняющих импульсов от  $10^{-6}$  до  $5 \cdot 10^3$  с. Кинетика захвата носителей на центры оказалась неэкспоненциальной, что может быть связано в первую очередь с пространственной неоднородностью концентрации свободных электронов, или, что то же самое, положением уровня Ферми в образце. В этом случае можно говорить о некотором распределении барьеров по высоте, отсчитанной от уровня Ферми, которое в простейшем приближении можно описывать через величину минимального и максимального барьеров. Минимальная высота барьера была определена из температурной зависимости мгновенной постоянной времени захвата носителей на центры, вычисленной при степени заполнения центров  $a \sim 0.05 \cdot a_{\max}$ , и составила  $0.33 \pm 0.01$  эВ, сечение захвата —  $2 \cdot 10^{-16}$  см<sup>2</sup>. Превышение максимального барьера над минимальным, определенное из кинетики захвата при степени заполнения  $a \sim 0.95 \cdot a_{\max}$ , не превышало в наших экспериментах 0.03 эВ, что соответствует вариации концентрации свободных электронов не более чем на порядок.

Профиль распределения центров  $M5$  по области пространственного заряда и равновесная глубина их залегания были определены из зависимости амплитуды DLTS-максимума от амплитуды заполняющего импульса. Зависимость была практически линейной на участке от  $U_p = 0$  до амплитуды заполняющего импульса, равной напряжению смещения на образце, что говорит о равномерном характере распределения центров по области пространственного заряда диода Шоттки. Экстраполяция зависимости до пересечения с осью абсцисс дала значение, равное равновесной глубине залегания центров  $M5$ , равное  $0.05 \pm 0.01$  эВ. Эта величина хорошо совпадает со значением, полученным как разница энергий активации термоэмиссии и захвата (0.04–0.07) эВ.

Вследствие большой концентрации центров  $M5$  их проявление удалось зарегистрировать в виде ступеньки в методе термостимулированной емкости. Ступенька величиной около 1.7 пФ, находящаяся при температуре около 160 К, по температурному положению с учетом скорости нагрева соответствует DLTS-максимуму  $M5$ . Оцененная концентрация центров  $M5$  в образце, деформированном на 4.5%, составила не менее 0.21.

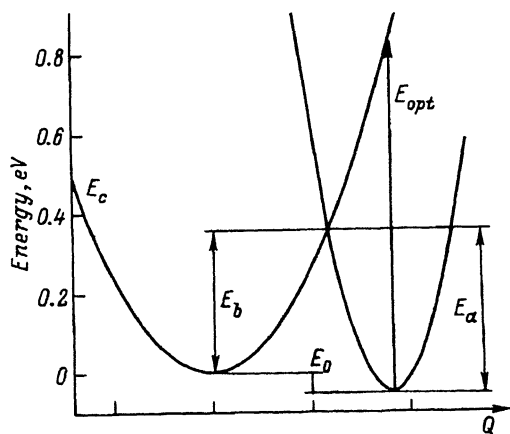


Рис. 2. Конфигурационно-координатная диаграмма центра  $M5$ . Термическая энергия активации  $E_a = 0.40 \pm 0.01$  эВ, минимальная высота барьера для захвата  $E_b = 0.33 \pm 0.01$  эВ, пороговая энергия оптической ионизации  $E_{\text{opt}} = 0.88 \pm 0.03$  эВ, равновесная энергия залегания  $E_0 = 0.04 \div 0.07$  эВ.

Для определения пороговой энергии фотовозбуждения носителей с центров  $M5$  были записаны кривые термостимулированной емкости после охлаждения образца без смещения с последующей засветкой в течение 20 мин монохроматическим светом различной длины волны. На кривых термостимулированной емкости после воздействия излучением с энергией фотона  $h\nu = 0.75$  эВ ступенька  $M5$  сохранялась; после воздействия излучением с  $h\nu = 1.0$  эВ ступенька исчезала. На кривой фотоемкости в этой области энергий квантов света наблюдалась единственная ступенька высотой около 1.7 пФ с пороговой энергией ионизации 0.88 эВ.

Определенные в экспериментах параметры центра  $M5$  представлены в виде конфигурационно-координатной диаграммы на рис. 2.

Сходство параметров центра  $M5$  с хорошо изученным  $DX$ -центром в полупроводниках  $A^{III}B^V$  приводит к предположению об общности их происхождения.

Отметим, что DLTS-максимум с близкими к  $M5$  параметрами неоднократно отмечался в пластически деформированном  $CdS$ , а в нашей недавней работе центр  $M5$  [6] был приписан винтовым дислокациям.

В ближайшее время мы опубликуем более подробное изложение и обсуждение проведенных экспериментов.

#### Список литературы

- [1] P.M. Mooney. *Semicond. Sci. Technol.*, **6**, B1 (1991).
- [2] D.V. Lang. *J. Appl. Phys.*, **45**, 3022 (1974).
- [3] P.M. Henry, J.M. Meese, J.W. Farmer, C.D. Lamp. *J. Appl. Phys.*, **57**, 628 (1985).
- [4] Е.В. Астрова, А.А. Лебедев. *ФТП*, **24**, 549 (1990).
- [5] О.Ф. Вывенко, Н.В. Базлов, С.Л. Целищев. *ФТП*, **24**, 2208 (1990).
- [6] O.F. Vyvenko, A.A. Istratov. *Phys. St. Sol. (a)*, **138**, 715 (1993).

Редактор Л.В. Шаронова

---