

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ p-n ПЕРЕХОДОВ НА СЕЛЕНИДЕ ЦИНКА, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ РАДИКАЛО-ЛУЧЕВОЙ ГЕТТЕРИРУЮЩЕЙ ЭПИТАКСИИ

У.А. Аминов, Т.В. Бутхузи, А.Н. Георгобиани, Т.Г. Хулордава,
Б.Т. Эльтазаров

Изучены вольт-амперные и вольт-фарадные характеристики p-n переходов на основе ZnSe с высотой потенциального барьера 2,3 В.

Решение проблемы создания светоизлучающих и фоточувствительных p-n переходов на основе широкозонных полупроводниковых соединений A^2B^6 зависит от разработки надежных способов контроля и управления составом точечных собственных дефектов, которые в основном и определяют люминесцентные, фотоэлектрические и электрофизические свойства этих материалов, в том числе тип проводимости, а также процессы генерации, захвата и рекомбинации носителей заряда. Лишь в последние годы разработаны физико-химические основы управления составом точечных дефектов в соединениях A^2B^6 и типом их проводимости /1/.

В этой работе исследовались электрофизические, в частности, вольт-амперные (ВАХ) и вольт-фарадные характеристики (ВФХ) p-n переходов, созданных методом радикало-лучевой геттерирующей эпитаксии (РЛГЭ) /2/. В качестве базового материала использовались монокристаллы ZnSe n-типа проводимости с удельным сопротивлением $\rho \cong 0,02 \text{ Ом} \cdot \text{см}$, выращенные из расплава. Из этих кристаллов изготавливались образцы размером около $7 \times 7 \times 1 \text{ мм}^3$, ориентированные в плоскости (111), механически полированные и протравленные в растворе $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$ (20 г + 30 мл) в течение 10 минут. Далее образцы ZnSe подвергались термической обработке в атомарном кислороде. При этом происходила инверсия типа проводимости в поверхностном слое ZnSe и наращивание слоев окиси цинка p-типа проводимости с удельным сопротивлением $\rho \cong 10^3 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ толщиной 0,1 – 100 мкм. Омические контакты к ZnSe n-типа проводимости были образованы путем вжигания индия, а золотые контакты толщиной примерно 0,5 мкм нанесены путем напыления в вакууме не хуже чем 10^{-6} торр на слой ZnO.

Для снятия ВАХ структур в качестве задающего генератора использован Г6-15, генерирующий сигналы в режиме нарастающей пилю.

Вольт-фарадная зависимость структур снималась с помощью цифрового моста МЦЕ-7А, позволяющего измерять емкость от 0,01 до 1000 пФ, при напряжениях смещения от 0 до 200 В. Частота, на которой измерялись значения емкостей, составляла 1 МГц при значении амплитуды тестирующего (измерительного) напряжения $\sim 100 \text{ мВ}$.

Типичная ВАХ p-n перехода на селениде цинка представлена на рис. 1 в полулогарифмическом масштабе. При напряжениях прямого смещения, т.е. при подаче на золотой электрод структуры положительного потенциала $U \lesssim 2 \text{ В}$ существует линейный участок, который означает, что между током через структуру и напряжением смещения существует экспоненциальная зависимость. В этой области прямая ветвь ВАХ описывается формулой Саа – Шокли – Нойса /4/ $I = I_0 \exp(qU/nkT)$, где $n \cong 2$. Здесь I_0 – обратный ток, q – заряд электрона, U – приложенное напряжение, k – постоянная Больцмана, T – температура. Указанное значение n свидетельствует о том, что рекомбинация происходит в области пространственного заряда. Сублинейный участок на рис. 1 указывает на то, что происходит ограничение роста падения напряжения на базовых областях.

По ВАХ оценивалась высота барьера в структуре исходя из того факта, что отклонение зависимости от экспоненциальной начинается при напряжениях $\gtrsim 2 \text{ В}$, что свидетельствует о снятии барьера при этих напряжениях. Исходя из этого, можно заключить, что высота барьера в структуре не менее 2 В. Судя по значению высоты барьера, можно утверждать, что в структуре существует p-n переход.

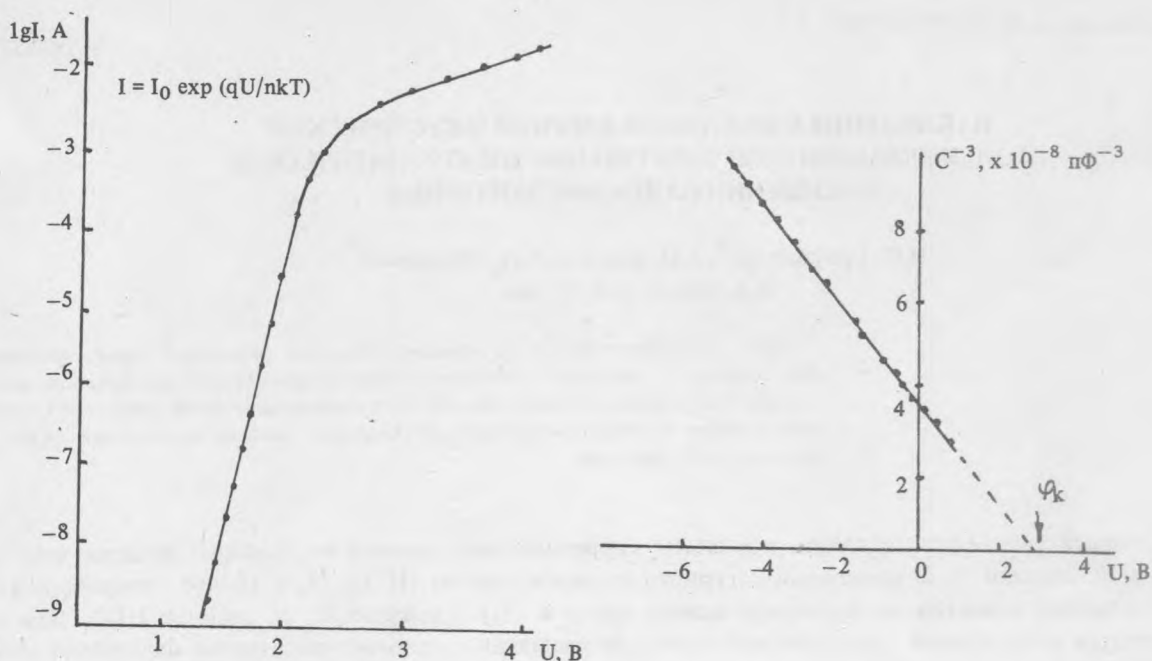


Рис. 1. Вольт-амперная характеристика p-n переходов на селениде цинка при $T = 300$ К, $n = 2$. Кривая проведена по точкам.

Рис. 2. Вольт-фарадная характеристика p-n переходов на селениде цинка.

Дополнительную информацию о высоте потенциального барьера в структуре можно получить из ВФХ. Кривая на рис. 2 представляет зависимость емкости от напряжения обратного смещения, построенную в координатах C^{-3} , U . Линейная зависимость свидетельствует о том, что имеет место p-n переход с линейным распределением центров, формирующих пространственный заряд, по-видимому, акцепторных центров [3]. В таком случае зависимость емкости C от обратного напряжения описывается формулой:

$$C = \left[\frac{q \alpha (\epsilon_s \epsilon_0)^2}{12 (\varphi_k \pm U)} \right]^{1/3}, \quad [\text{Ф/см}^2],$$

где φ_k — высота барьера в p-n переходе, ϵ_s — диэлектрическая проницаемость полупроводника, ϵ_0 — диэлектрическая проницаемость вакуума, α — градиент концентрации акцепторных центров.

Экстраполяция экспоненциальной зависимости до пересечения с осью абсцисс дает значение напряжения, соответствующее высоте барьера и равное 2,3 В, что согласуется со значением, полученным из вольт-амперной характеристики. Определен также градиент концентрации акцепторных центров из наклона вольт-фарадной характеристики, который составляет около $1 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-4}$.

Таким образом, на основе изученных электрофизических характеристик можно заключить, что в ZnSe получен p-n переход с высотой потенциального барьера $\varphi_k \cong 2,3$ В. Слой ZnO необходим для получения светодиода, так как он прозрачен для излучения ZnSe. Потенциальный барьер между слоями ZnO и ZnSe, обладающими проводимостью p-типа, вероятно, сравнительно мал.

ЛИТЕРАТУРА

1. Георгобiani А.Н., Котляревский М.Б. В кн. Физика соединений A^2B^6 . М., Наука, 1986, с. 72.
2. Бутхузи Т.В. и др. Люминесценция монокристаллических слоев окиси цинка n- и p-типа проводимости. Труды ФИАН, 182, 140 (1987).
3. Берг А., Дин П. Светодиоды. М., Мир, 1979.
4. Sah С.Т., Ноусе R.N., Shockley W. Proc. IRE, 45, 1228 (1957).

Поступила в редакцию 3 мая 1990 г.