

В данной работе представлен анализатор жидкости для измерения уровня рН, диапазон измерения уровня рН которого находится в пределах от 0 до 14.

Шкала рН-метра имеет цену деления 0,1 рН.

Точность измерений составляет  $\pm 0,1$  рН.

Анализатор жидкости работает при температуре от 0 до 50 °С.

Для калибровки прибора в комплекте поставляется специальная отвертка.

Электроды являются чувствительными элементами устройства.

Усилительно-согласующее устройство предназначено для усиления сигнала и приведению его к формату измерения АЦП микроконтроллера.

Микроконтроллер измеряет значение сигнала, посредством АЦП преобразует его в значения рН в диапазоне от 0 до 14.

Интерфейс USB предназначен для изменения настроек представленного анализатора жидкости, например при его отладке.

Индикатор предназначен для отображения информации, получаемой с данного устройства, а именно значения рН.

УДК 681

### ИТЕРАЦИОННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ НЕРАВНОВЕСНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

Магистранты гр. 61315023 Забогонский К. А., Париза И. А.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Шадурская Л. И.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В реальном полупроводнике присутствуют различные примеси и дефекты с широким спектром энергетических уровней в запрещенной зоне полупроводника, существенно влияющих на время жизни неравновесных носителей заряда  $\tau_p$  и  $\tau_n$ . Данная работа посвящена методике расчета  $\tau_p$  и  $\tau_n$  итерационным методом в случае произвольного числа центров рекомбинации и созданию программного обеспечения для решения данной задачи.

Процессы стационарной рекомбинации неравновесных носителей заряда (ННЗ) в случае произвольного количества дефектов описывается системой уравнений:

$$\sum_{i=1}^K (R_{ni} + \Delta R_{ni}) = \sum_{i=1}^K (R_{pi} + \Delta R_{pi}), \quad (1)$$

где  $R_{ni}$ ,  $R_{pi}$  – скорости рекомбинации электронов и дырок на  $i$ -том энергетическом уровне в отсутствие других уравнений;  $\Delta R_{ni}$  и  $\Delta R_{pi}$  – изменение скорости рекомбинации электронов и дырок на  $i$ -том центре, связанное с существованием других дефектов. Уравнение (1) аналитически не решается.

Неравновесная стационарная функция распределения  $i$ -го уровня  $f_i$  зависит от функций распределения других  $j$ -ых дефектов, а вероятности заполнения этих уровней, в свою очередь, зависят от наличия дефекта с  $i$ -тым уровнем, следовательно возбуждение  $P_i$  не только определяет  $f_i$ , но и само зависит от  $f_i$ . Поэтому  $P_i$  можно назвать самосогласованным.

Внешнее самосогласованное возбуждение можно представить в виде:

$$P_i = \sum_{j \neq i}^{K-1} N_j (f_j - f_{j0}), \quad (2)$$

где  $P_i$  определяет изменения концентрации неравновесных носителей заряда  $\Delta n$  и  $\Delta p$  за счет наличия всех дефектов, кроме дефекта с  $i$ -тым уровнем;  $N_j$  – концентрация дефектов с уровнем  $j$ ,  $f_j$  – неравновесное стационарное уравнение заполнения  $j$ -го уровня,  $f_{j0}$  – равновесная функция заполнения  $j$ -го уровня.

Введение внешнего самосогласованного возбуждения  $P_i$  дает возможность перейти к рассмотрению системы независимых центров и систему кинетических уравнений, описывающих рекомбинационные процессы представить в виде:

$$U_{ni} = U_{pi}, i = 1, 2, 3, \dots K. \quad (3)$$

Тогда уравнение (3) примет вид:

$$\gamma_{ni}[(1 - f_i)(n_0 + \Delta n + P_i) - f_i n_{1i}] = \gamma_{pi}[(p_0 + \Delta n + N(f_i - f_{i0}) + P_i) - (1 - f_i)p_{1i}], \quad (4)$$

где  $n_1, p_1$  – приведенные плотности состояний в  $C$ - и  $V$ -зонах соответственно;  $\gamma_n, \gamma_p$  – коэффициенты захвата электронов и дырок на центр соответственно;  $n_0, p_0$  – равновесные концентрации свободных электронов и дырок.

В качестве нулевого приближения выберем  $f_j^{(0)}$  для случая когда центры не влияют друг на друга [1].

Подставляя  $P_i^{(0)}$  в уравнение (4) находим неравновесную стационарную функцию заполнения  $i$ -го дефекта в первом приближении  $f_i^{(1)}$  и затем из уравнения (4) определяем  $P_i^{(1)}$  и т. д. Эта процедура повторяется до тех пор, пока  $(n + 1)$  приближение не совпадает с  $n$ -тым в пределах заданной точности.

### Литература

1. Шадурская, Л. И. Влияние уровня возбуждения на процессы безызлучательной рекомбинации на точечных дефектах структуры / Л. И. Шадурская, В. Б. Яржембицкий // Труды 29 междунар. коллокви. – Ильменау (ГДР). – 1984. Ч. 2. – NB2. – С. 118–122.

УДК 629.78

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОПОЛОГИИ НИЗКООРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКИ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Студенты Казеко Д. Н., Васильцов К. А., ассистент Баранова В. С.,  
Кандидат физ.-мат. наук, Спиридонов А. А., д-р физ.-мат. наук Саечников В. А.  
Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

В данной работе было произведено моделирование построения низкоорбитальной группировки малых космических аппаратов (МКА) с целью обеспечения обслуживания регионов европейской части Российской Федерации и Республики Беларусь, а также расчет координат расположения минимального количества наземных станций приема (НСП), которое необходимо для сокращения разрыва между интервалами радиовидимости спутников группировки до 15 мин. Для тестирования программной модели использована орбита студенческого спутника BSUSAT-1 как опорная орбита для создания группировки, с наклоном орбиты  $97,4^\circ$  и высотой орбиты 500 км. МКА группировки расположены в пяти орбитальных плоскостях, смещенных по долготе восходящего узла на  $72^\circ$ , и по три спутника на каждой орбите с разнесением по средней аномалии на  $120^\circ$ . Задачи управления группировкой МКА решают 4 НСП, расположенные в городах Минск, Гродно, Калуга и Самара. В качестве базовой конфигурации НСП выбрана наземная станция факультета радиофизики и компьютерных технологий БГУ.

Представлены результаты моделирования динамики движения группировки МКА, их интервалов радиовидимости для заданных НСП с углом места более 5 градусов. Интервалы видимости спутников группировки для каждой НСП представлены на рис. 1.

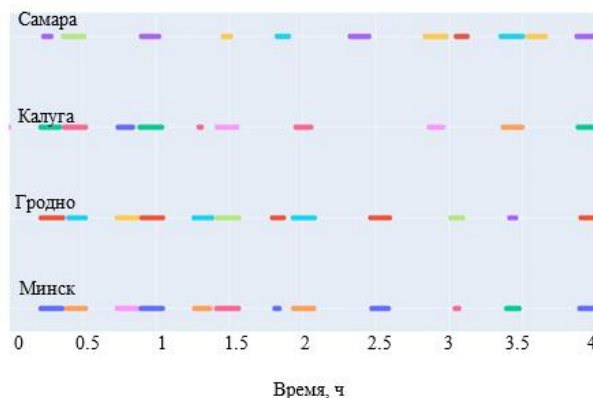


Рис. 1. Интервалы видимости спутников группировки для каждой НСП за 4 часа