

УДК 389.001

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТА В ПРОЦЕДУРЕ ИЗМЕРЕНИЙ КОНЦЕНТРАЦИИ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА

Гусев О.К.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Определение значения концентрации носителей заряда в объектах различной природы представляет собой важную измерительную задачу, решение которой в реальных условиях измерений способствует повышению качества изделий и технологических процессов.

Концентрация носителей заряда является параметром физической модели объекта измерений [1,2], выбор которой определяются требованием ее адекватности — необходимостью максимального соответствия цели измерений.

Базовой моделью явления электрической проводимости, отражающей принцип, на котором основаны традиционные методы измерений концентрации носителей заряда в однородных объектах, является выражение:

$$J = KU \sum_i N_i \mu_i, \quad (1)$$

где J -ток через электроды K - постоянная, учитывающая геометрическую конфигурацию объекта, электродов и электрического поля, U - разность потенциалов между электродами, N_i и μ_i — концентрация и подвижность i -ой компоненты носителей заряда.

Следует отметить два типа объектов:

1. Полупроводники с примесной проводимостью, для которых $i=1$ (электронная, либо дырочная проводимость)

$$J = KUN\mu, \quad (2)$$

Величины N и μ не имеют однозначной функциональной связи между собой вследствие большого разнообразия механизмов рассеяния носителей заряда в твердом теле, поэтому косвенные измерения согласно (2) позволяют определять только произведение $N\mu$, а их отдельное определение требует дополнительного независимого измерения. Для этого используют явление возникновения гальваномагнитной ЭДС в объекте при воздействии на него магнитного поля с индукцией B , перпендикулярной направлению тока J :

$$U_H = K_U UB\mu, \quad (3)$$

где K_U и K_J — постоянные, учитывающие геометрическую конфигурацию объекта, электродов и электрического поля. На рассмотренном принципе ос-

нованы измерения концентрации и подвижности носителей заряда методом эффекта Холла.

Растворы сильных кислот и щелочей, для которых $i=2$ (проводимость за счет анионов и катионов)

$$J = KU(N^+ \mu^+ + N^- \mu^-) = KUN(\mu^+ + \mu^-), \quad (5)$$

где $N^+ = N^- = N$ — концентрации ионов, а μ^+ , μ^- — их подвижности.

Доминирующим механизмом рассеяния носителей заряда в растворах электролитов является кулоновское взаимодействие ионов, поэтому величины N и $(\mu^+ + \mu^-)$ — функционально связаны между собой, и для их раздельного определения достаточно косвенных измерений согласно (4). Рассмотренный принцип положен в основу методов и средств измерения удельной проводимости (кондуктометры) и концентрации (концентратомеры или солемеры) растворов электролитов.

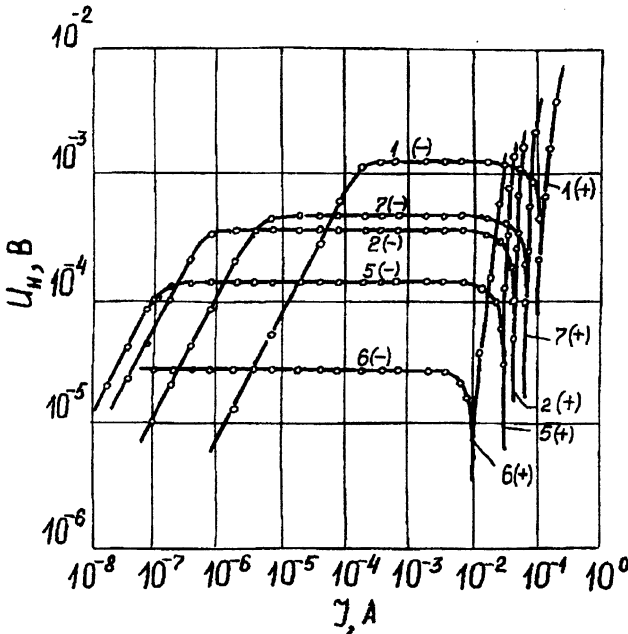


Рис. 1. Зависимость ЭДС Холла в кристаллах $p\text{-InAs}$ от величины электрического тока при различных обработках поверхности

Несоответствие реальных объектов обоих типов рассмотренным моделям возникает при постановке ряда измерительных задач как при научных исследованиях, так и при технологическом контроле производственных про-

цессов, что проявляется в методических погрешностях измерений, которые могут превышать допускаемые значения, а в ряде случаев равноценны грубым ошибкам. Типичными ситуациями являются нарушение требования качественной и количественной однородности полупроводниковых кристаллов в моделях (2–3), а также отсутствие априорной информации о типе измеряемого раствора электролита и функциональной связи величин N и $(\mu^+ \mu^-)$ в выражении (4).

А Измерение концентрации носителей заряда в узкозонных полупроводниковых соединениях с инверсионными каналами на поверхности

На рис. 1 показаны экспериментальные зависимости ЭДС Холла в кристаллах $p\text{-InAs}$ при температуре 77 К [3]. Согласно разработанной модели в области малых (до 10^{-4} – 10^{-3} А) электрических токов проводимость осуществляется по поверхности образца, при этом измеряемые экспериментально величины ЭДС Холла и проводимости позволяют рассчитывать поверхностную плотность и подвижность электронов в инверсионных каналах. После достижения величины тока J_s , которому соответствует падение напряжения вдоль инверсионного канала U_b , равное пороговому напряжению пробоя поверхностного p - n -перехода, происходит стабилизация поверхностной составляющей электрического тока, приводящая к появлению протяженной (2–3 порядка величины тока) полки на зависимости ЭДС Холла от тока.

В процессе возрастания электрического тока происходит расширение области пробоя поверхностного p - n -перехода и при достижении величины $J_0 = Y_b \Delta x / R_d (1 - \Delta x)$, в нее попадают холловские контакты кристалла. При этом нарушается условие выключения объемной составляющей ЭДС Холла и происходит инверсия знака измеряемой ЭДС с аномального (отрицательного) на положительный. Дальнейшее увеличение тока приводит к асимптотическому приближению значений ЭДС Холла к ее объемному значению.

Как видно из приведенных данных, процедура измерения параметров как объема, так и поверхности кристаллов должна включать анализ полной зависимости ЭДС Холла от тока, на основе которого строится модель объекта измерений (наличие или отсутствие инверсионных каналов) и выбираются режимы, при которых измерительный сигнал (2)-(3) содержит информацию о параметрах конкретной области кристалла (концентрации дырок в объеме или плотности электронов в поверхностном инверсионном канале).

Б. Измерение концентрации растворов кислот и щелочей в технологических трубопроводах.

Измерения концентрации чередующихся дозированных объемов кислот и щелочей в длинных технологических трубопроводах сопровождается отсутствием априорной информации о типе измеряемого раствора электроли-

та в заданном сечении трубопровода. В этой ситуации повышение точности измерений потребовало разработки принципов и методов получения такой информации, совместимых с техникой кондуктометрических измерений.

В работе [4] нами разработаны принцип и метод определения типа раствора, основанные на явлении разделения токов динамической поляризации контактной кондуктометрической ячейки, согласно следующей модели:

$$\frac{k}{N \cdot (\lambda^\circ - (B_1 \cdot \lambda^\circ + B_2) \cdot \sqrt{N}) \cdot (1 + \alpha'(T_2 - T_1))} \cdot \frac{dJ}{dt} + \left(\frac{4\pi \cdot (d_a + d_x)}{\varepsilon \cdot S} - \frac{k_1 N^{k_2} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_{adc}}}\right) \cdot S}{\varphi_a - \psi_1} \right) \cdot i(t) = \frac{dU}{dt}, \quad (5)$$

где i — ток кондуктометрической ячейки; t — время; k, S — константы определяемые геометрическими размерами кондуктометрической ячейки; λ° — эквивалентная электрическая проводимость при бесконечном разбавлении; B_1 и B_2 — константы, зависящие от вида ионов; T_1 и T_2 — базовое и текущее значения температуры; λ' — коэффициент температурной зависимости; d_a и d_x — толщина сольватной оболочки анионов и катионов; ε — диэлектрическая проницаемость; φ_a — абсолютный скачок потенциала между электродом и раствором; ψ_1 — скачок потенциала в диффузной части двойного электрического слоя; k_1, k_2 — коэффициенты адсорбции; τ_{adc} — постоянная времени адсорбции.

Согласно модели (5), характеристики двойного электрического слоя на границе раздела чувствительный элемент-электролит определяются составом и структурой поверхности чувствительных элементов, типом присутствующих в растворе ионов, процессами специфической адсорбции на поверхности чувствительных элементов и практически не зависят от концентрации. Таким образом, включение в процедуру измерений концентрации растворов кислот и щелочей измерительного преобразования и анализа потенциодинамических кривых вида (5) позволяет моделировать тип раствора в заданном сечении и обеспечивать требуемую точность измерений концентрации растворов электролитов согласно (4).

Выводы

Проведенный в работе анализ методов измерений концентрации носителей заряда в объектах с неадекватными моделями показывает перспективность для обеспечения требуемой точности измерений в заданных условиях использовать моделирование объекта измерений на основе информации, полученной в рамках операций измерительной процедуры.

Литература

1. МИ 1317-96. Результаты и характеристики погрешности измерений.. Москва, Издательство стандартов, 1986., 29 с.
2. Джилавдари И.З., Сидорик В.В. Физика в компьютерных моделях. Минск, Пион, 1998, 248 с.
3. Андерсен Г.Ю., Гусев О.К., Киреенко В.П., Зайтов Ф.А., Яржембицкий В.Б. Влияние условий измерений на аномальный эффект Холла в p-InAs. Физика и техника полупроводников. Т.25, вып.11, 1991, с.1999-2002.
4. Воробей Р.И., Гусев О.К., Киреенко В.П., Тявловский А.К., Тявловский К.Л., Яржембицкий В.Б. Определение типа и концентрации растворов электролитов на основе анализа потенциодинамических кривых. Вести БНТУ, 2003, №2, с.

УДК 621.383

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЖК-МОДУЛЯТОРА В СХЕМЕ ОПТРОННОЙ СТРУКТУРЫ

Малаховская В.Э., Развин И.Ю.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

В настоящее время в информационно-измерительных системах широко используются оптронные структуры с открытым (управляемым) оптическим каналом [1]. Эффективность работы таких систем, содержащих элементы на основе жидкокристаллических структур, определяется пропускной способностью и быстродействием ЖК-элементов. В данной работе приведены результаты построения и анализа физической модели оптронной структуры диодного типа с управляемым оптическим каналом (УОК), в которой в качестве модулирующих элементов применяются отдельные электрооптические жидкокристаллические (ЖК) слои. В качестве излучающих и фоточувствительных элементов используются соответственно светодиоды и фотодиоды.

1. В рамках выбранной нами физической модели (геометрическое приближение) проведем качественную оценку светопередачи в такой оптронной структуре. Принцип действия рассматриваемой схемы основан на двойном преобразовании сигнала. Входной электрический сигнал, характеризующийся параметрами $U_{вх}$ и $I_{вх}$, преобразуется источником излучения (ИИ) в световой поток Φ_1 . Световой поток Φ_1 передается по оптическому каналу (ОК)