Таким образом, исследователь имеет l наиболее адекватных в статистическом смысле решений уравнений динамики.

При расчете параметров B рекомендуется применять процедуру «выметания» статистически незначимых термов, например, по критерию Стьюдента.

Составляющие формулы (2) предлагается идентифицировать следующими способами:

1) Для Ex(t) – из набора: A_0*EXP(A_1 t), EXP(A_0+A_1*t), A_0+A_1*CH(t), A_0+A_1*SH(t), A_0+A_1*TH(t), A_0+A_1*ACH(t), A_0+A_1*ASH(t), A_0+A_1*ATH(t);

2) Для G(t) - применяется аппарат метода группового учета аргументов синтеза математических моделей по некратным гармоникам (или применить Фурье-анализ с последующим отбросом незначимых термов);

3) Для F(t) – из набора: $A_0 + A_1$*t, $A_0 + A_1$*Ln(t), 1/($A_0 + A_1$*t), A_0/(A_1+t), A_0*t/(A_0+A_1*t), t /(A_0+A_1*t), A_0*A_1^t, A_0*A_1^{-t}, A_0+A_1/t , A_0+A_1*t+A_2*t^2;

4) Для ε(t) – по методике, предложенной И.Г.Уразбахтиным.

Таким образом, селекция лучших математических структур (2) на рядах самоорганизационного моделирования позволяет получить наиболее адекватное решение поставленной задачи.

ВЛИЯНИЕ ТИПА ИОНА НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЛИНОПТИЛОЛИТА

Барышников С.В., Ланкин С.В.,
Стукова Е.В., Юрков В.В.
Благовещенский государственный педагогический университет, Благовещенск

Цеолиты - кристаллические водные алюмосиликаты, структуры которых содержат однородные поры молекулярных размеров, вмещающие слабо связанные с каркасом различные катионы (I и II групп периодической системы Д.И. Менделеева) и молекулы воды. Слабосвязанные катионы и молекулы воды в порах цеолитов приводят к большим значениям диэлектрической проницаемости на низких частотах и существенной зависимости электрофизических свойств цеолитов от частоты и температуры. Вода может быть удалена при нагреве или вакуумировании цеолита, что мало влияет на алюмосиликатный жесткий каркас – его структура практически не изменяется. При этом электрические свойства цеолита полностью будут полностью определяться ионами металлов.

Целью данной работы являлось исследование зависимости диэлектрических свойств цеолита от типа основного иона. В качестве объекта исследования был выбран клиноптилолит: Сингония - моноклинная. Пространственная группа симметрии C2/m. Параметры элементарной ячейки по данным рентгеноструктурного анализа: *a* =1.761нм, *b* =1,780нм, *c* =0,741нм, β =115,2°. Для эксперимента использовались прессованные образцы из Li, Na, K – клиноптилолита в виде таблеток, полученных сухим прессованием из фракции <0,1мм под давлением ~20МПа. Образцы имели форму дисков диаметром 10 мм и толщиной 2 мм. Электроды получались путем вжигания серебрянной пасты.

Ионообменные формы клиноптилолита получались модифицированием его монофракций. Исходный материал обрабатывался в статических условиях 1М растворами солей LiCl, NaCl, KCl при комнатной температуре в течение суток. Эмпирическая формула клиноптилолита, полученная из результатов химического анализа контрольной монофракции, имеет вид: $Ca_2MgK[Al_6Si_{28}O_{70}]\cdot 16H_2O$. Химический состав образцов определялся методами фотоэлектрокалориметрии и атомной адсорбции [1]. Масса навесок составляла 0,1 г. В таблице приведены состав образцов в весовых процентах.

Таблица 1. Состав образцов в весовых процентах

Образец	Li Вес.%	K Вес.%	Na Вес.%	Mg Вес.%	Ca Вес.%
Образец 1 (калиевая форма)	-	3,41	0,445	0,432	0,728
Образец 2 (натриевая форма)	-	1,145	2,923	0,528	0,864
Образец 3 (литиевая форма)	1,338	1,394	0,742	0,594	1,335

Измерения диэлектрической проницаемости ε и tgδ проводились в в температурном интервале 300 - 600 К на частотах 10^2, 10^3, 10^4 и 10^6 Гц. На частотах 10^2, 10^3, 10^4 Гц использовался измеритель импеданса Е7-14, на частоте 10^6 Гц – Е7-12. Температурная стабилизация составляла порядка 1,0 К. Для устранения влияния адсорбированной воды образцы перед измерениями отжигались при температуре 550 - 600 К в течение двух часов.

Как показали исследования, с повышением температуры ε и tgδ растут. Степень роста определяется частотой и зависит от типа основного иона. На рис.1 приведена температурная зависимость диэлектрической проницаемости на частоте 10^6 Гц, где кривые 1, 2, 3 соответствуют образцам, приведенным в таблице.

В дегидратированом клиноптилолите основной вклад в диэлектрическую проницаемость должна давать ионно-миграционная поляризация:

$$e = 1 + 4pa_{эл} + \frac{2p\,e^2 d^2 n}{kT}\frac{1}{1+iwt},\ t = \frac{1}{2n}e^{\frac{U}{kT}},$$

где d – расстояние между двумя положениями равновесия, n – концентрация ионов, n – частота колебания около положения равновесия, U – высота потенциального барьера. Моделирование дает, что для того, чтобы при $n \approx 10^{21}$ см$^{-3}$ экспериментальная кривая $e(T)$ совпадала с теоретической, необходимо положить, что ионы металлов колеблются со сверхнизкими частотами ~10^5Гц, при движении перескакивают на расстояние ~ $3{,}7*10^{-8}$м, энергия активации (например, для Na) составляет U = 0,15 эВ. Это говорит о том, что простая модель с ионно-миграционной поляризацией в данном случае не применима.

Более реальные результаты можно получить, если дополнительно учесть зернистость и пористость цеолитовой керамики. В этом случае диэлектрические свойства следует рассматривать как свойства гетерогенной системы с использованием формулы Лихтнекера [2]. Для смеси из **N** компонентов имеем:

$$e' = \prod_{i=1}^{N}\left[(e_i')^2 + (e_i'')^2\right]^{0,5x_i}\cos\left[\sum_{i=1}^{N} x_i \operatorname{arctg}\left(\frac{e_i''}{e_i'}\right)\right]$$

Тангенс диэлектрических потерь будет определяться как

$$\operatorname{tg} d = \frac{e''}{e'} = \operatorname{tg}\left[\sum_{i=1}^{N} x_i \operatorname{arctg}\left(\frac{e''_i}{e'_i}\right)\right]$$

где, ε′ и ε″– компоненты комплексной диэлектрической проницаемости, x_i – объем занимаемый каждой компонентой, $\sum_{i=1}^{N} x_i = 1$.

В этом случае для простой модели двухкомпонентной системы цеолит (85%) – воздушные поры (15%) получается хорошее совпадение теоретической и экспериментальной кривых $e(T)$ для обычных параметров ионных кристаллов: $n \approx 10^{21}$ см$^{-3}$, $\omega \approx 10^{13}$ Гц, $\delta \approx 2*10^{-10}$м и энергия активации составляет U = 0,24 эВ. для образца №1, U = 0,288 эВ для образца №3.

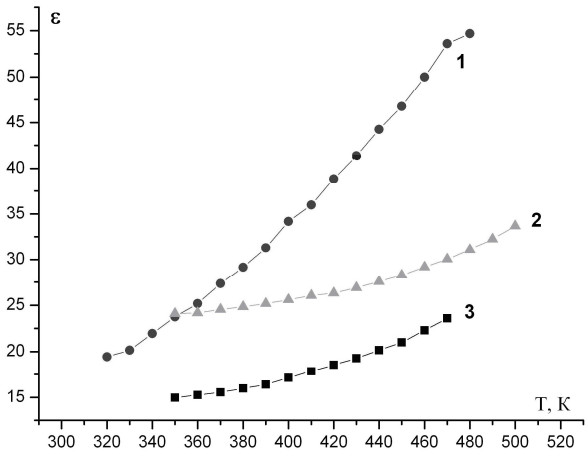

Рисунок 1. Температурная зависимость диэлектрической проницаемости на частоте 10^6 Гц

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1]. Гельман Е. М., Соробина И. Д. Ускоренные химические методы определения породообразующих элементов: Химические методы. Инструкция № 138-Х / Под председ. Г. В. Остроумова. – М.: ВИМС, 1976. – 58 с.

[2]. Барышников С.В., Баранов А.Ф., Медовой А.И. Труды III международной конференции "Кристаллы: рост, свойства, реальная структура, применение", Т.2 – Александров: ВНИИСИМС, 1997.– С.402-405.

ПОТЕРИ ТОКА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ С СУБМИКРОННЫМ N-P-ПЕРЕХОДОМ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ НАКОПЛЕНИЕМ НЕРАВНОВЕСНОГО ПОВЕРХНОСТНОГО ЗАРЯДА

Богатов Н.М., Матвеякин М.П., Родоманов Р.Р.
Кубанский государственный университет

Технология изготовления полупроводниковых фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) непрерывно совершенствуется, так что потери энергии в объеме наиболее эффективных структур сведены к минимуму. Это достигается использованием исходного полупроводникового материала, очищенного от посторонних примесей и дефектов, уменьшением толщины сильно легированных слоев, контролем физических и геометрических параметров неоднородных областей. Одной из тенденций усовершенствования ФЭП является уменьшение глубины p^+-n-перехода до значений $w_p \leq 0{,}1$ мкм. В этих условиях возрастает доля потерь энергии, обусловленных процессами на поверхности и границах раздела диэлектрик-полупроводник, полупроводник-полупроводник, металл-полупроводник.

Целью работы является исследование влияния неравновесного поверхностного заряда на величину внутреннего электрического потенциального барьера и ток короткого замыкания кремниевых фотоэлектрических структур с субмикронным эмиттером.

Проанализирована структура области пространственного заряда (ОПЗ) субмикронного несимметричного p-n-перехода (рис. 1). В этом случае размер части ОПЗ в p-слое совпадает с толщиной эмиттера w_p, а в n-слое – x_n много меньше толщины базы. Рас-