

X Международная научная конференция
«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА»

APSSP
MINSK

X International Scientific Conference
«ACTUAL PROBLEMS OF SOLID STATE PHYSICS»

СБОРНИК ТЕЗИСОВ

BOOK OF ABSTRACTS



APSSP
2023

ГО "НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР НАЦИОНАЛЬНОЙ
АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ ПО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЮ"



SSPA "Scientific-Practical Materials Research Centre
of NAS of Belarus"

МИНСК, БЕЛАРУСЬ

2023

ABSTRACT

ТЕЗИСЫ

Электростатическая модель энергии активации прыжковой электропроводности слабо легированного и слабо компенсированного кремния *p*-типа

Н. А. Поклонский^{1*}, И. И. Анিকেев¹ и С. А. Вырко¹

¹ Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030 Минск, Беларусь, e-mail: Poklonski@bsu.by *

Существует достаточно много экспериментальных данных [1–6] по термической энергии активации ε_3 прыжковой электропроводности на постоянном токе слабо легированных и слабо компенсированных кристаллических полупроводников, которые не получили количественной поддержки в рамках известных математических и компьютерных моделей [7, 8]. Цель работы — предложить простую аналитическую формулу для ε_3 и сравнить результаты расчета по ней с экспериментальными данными [6] для слабо легированного бором (В) и слабо компенсированного фосфором (Р) кристаллического кремния *p*-Si:B,P.

Пусть концентрация акцепторов $|a\rangle$, которые находятся в зарядовых состояниях (0) и (–1) [обозначим их соответственно $|a;0\rangle$ и $|a;-1\rangle$], равна $N_a = N_0 + N_{-1}$, а концентрация ионов доноров $|d;+1\rangle$ равна $N_d = N_{+1} = KN_a$, где $0 < K < 0.05$ — степень компенсации акцепторов (В) донорами (Р); $(1 + K)N_a$ — суммарная концентрация водородоподобных примесей. Вследствие прыжков дырок между неподвижными акцепторами зарядовые состояния $|a;0\rangle$ и $|a;-1\rangle$ мигрируют по кристаллу, а ионы доноров $|d;+1\rangle$ неподвижны. Энергию термической активации ε_3 для прыжковой электромиграции дырок между случайно (пуассоновски) распределенными по кристаллу акцепторами $|a;0\rangle$ и $|a;-1\rangle$ определим как разность двух чисто кулоновских энергий взаимодействия ионов $|a;-1\rangle$ и $|d;+1\rangle$ на расстоянии в пределах от R_{cor} до ∞ ; конечное состояние] и $|a;-1\rangle$ и $|d;+1\rangle$ на расстоянии в пределах от 0 до R_{cor} ; начальное состояние]:

$$\varepsilon_3 = \left\{ Y \left[\Gamma\left(\frac{2}{3}\right) - \Gamma\left(\frac{2}{3}, \frac{4\pi}{3} R_{\text{cor}}^3 KN_a\right) \right] - \frac{Y}{Y-1} \Gamma\left(\frac{2}{3}, \frac{4\pi}{3} R_{\text{cor}}^3 KN_a\right) \right\} \frac{e^2}{4\pi\epsilon} \left(\frac{4\pi}{3} KN_a\right)^{1/3},$$

где $\Gamma(z)$ — гамма функция Эйлера, $\Gamma(z, s)$ — неполная гамма функция, $\epsilon = 11.5\epsilon_0$ — статическая диэлектрическая проницаемость кристаллической матрицы кремния [9], $R_{\text{cor}} = \gamma[(1 + K)N_a]^{-1/3}$ — радиус кулоновской корреляции между ионами донора $|d;+1\rangle$ и акцептора $|a;-1\rangle$; $1/Y = 1 - \exp(-4\pi R_{\text{cor}}^3 KN_a/3)$. Свободный параметр $\gamma = R_{\text{cor}}[(1 + K)N_a]^{1/3}$ можно выбрать в пределах от 0.554 до 1.28, что отвечает разным схемам вычисления среднего расстояния между первыми ближайшими атомами примесей (как точечными частицами) при их пуассоновском распределении по кристаллу (см., например, [10]).

Рассчитанные по предложенной формуле и экспериментальные [6] зависимости ε_3 от степени компенсации K от $5 \cdot 10^{-4}$ до 10^{-2} при концентрации бора $N_a = 3.6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, а также от концентрации N_a от $2 \cdot 10^{16}$ до $1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ при степени компенсации $K = 10^{-3}$ в целом согласуются при значении свободного параметра $\gamma = 1.2$ для кристаллов *p*-Si:B,P.

Работа выполнена при поддержке ГПНИ «Материаловедение, новые материалы и технологии».

Список использованных источников

- [1] H. Fritzsche J. Phys. Chem. Solids 6(1) (1958) 69-80.
- [2] H. Fritzsche [et al.] In Proc. Int. Conf. on Semicond. Phys., Prague, 1960. Czech. Acad. Sci. (1961) 222-224.
- [3] R.K. Ray [et al.] Phys. Rev. 121(3) (1961) 768-779.
- [4] E.A. Davis [et al.] Phys. Rev. 140(6A) (1965) A2183-A2194.
- [5] Е.М. Гершензон [и др.] ФТП 15(7) (1981) 1284-1292.
- [6] А.П. Мельников [и др.] Письма в ЖЭТФ 71(1) (2000) 28-33.
- [7] Б.И. Шкловский [и др.] ФТП 14(5) (1980) 825-858.
- [8] Ю.Я. Ткач [и др.] ЖЭТФ 102(5(11)) (1992) 1683-1692.
- [9] O. Madelung. Semiconductors: Data Handbook. Springer (2004) xiv+692 p.
- [10] N.L. Lavrik [et al.] J. Chem. Phys. 114(21) (2001) 9489-9491.