

10. Rasulov, R. Y., Akhmedov, B. B., Muminov, I. A., & Umarov, B. B. (2021). Crystals with tetrahedral and hexagonal lattices. Fergana. Classic.-2021, 10.
11. Rasulov, V. R., Rasulov, R. Y., Mamatova, M. A., & Qosimov, F. (2022, December). Semiclassical theory of electronic states in multilayer semiconductors. Part 2. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 2388, No. 1, p. 012158). IOP Publishing.
12. Расулов, Р. Я., Эшболтаев, И. М., Кучкаров, М. Х., & Махситалиев, Б. (2021, November). ДЫРОЧНЫЕ СОСТОЯНИЯ В КВАНТОВОЙ ЯМЕ ГИРОТРОПНОГО КРИСТАЛЛА. In The 6th International scientific and practical conference "Modern directions of scientific research development" (November 24-26, 2021) BoScience Publisher, Chicago, USA. 2021. 1153 p. (p. 304).
13. Расулов, В. Р., Расулов, Р. Я., Муминов, И. А., Эшболтаев, И. М., & Кучкаров, М. (2021). МЕЖДУЗОННОЕ ТРЕХФОТОННОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ В INSB.
14. Rasulov, R. Y., Karimova, G. A., & Rahmatov, I. (2023). LINEAR-CIRCULAR DICHROISM OF THE PHOTON DRAG EFFECT IN SEMICONDUCTOR SUPERSTRUCTURES. Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences, 3(4), 458-463.
15. Rasulov, V. R., Rasulov, R. Y., Axmedov, B. B., Muminov, I. A., & Polvonov, B. Z. (2020). Linear-circular dichroism of one-photon absorption of light in narrow-zone semiconductors. contribution of the effect of coherent saturation. European Science Review, (7-8), 49-53.
16. Rasulov, V. R., Rasulov, R. Y., Sultonov, R. R., & Akhmedov, B. B. (2020). Two-and Three-Photon Linear-Circular Dichroism in Cubic-Symmetry Semiconductors. Semiconductors, 54, 1381-1387.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ТОКОПРОХОЖДЕНИЯ В СИЛЬНО КОМПЕНСИРОВАННЫХ ОБРАЗЦАХ n-Si<P, Zn> С КВАНТОВЫМИ ТОЧКАМИ

Э. У. Арзикулов, М. Раджабова,

Аннотация. Вольтамперные характеристики (ВАХ) полупроводников с глубокими уровнями (ГУ) показывают три или более характерных участков. Первый участок соответствует линейной зависимости тока от напряжения, что соответствует закону Ома. На втором участке ВАХ наблюдается степенная зависимость между током и напряжением, где степень $n \geq 1$. На третьем участке ВАХ происходит резкое увеличение тока при определенных значениях напряжения, за которыми следует область с отрицательной дифференциальной проводимостью (ОДП), которая может быть типа N или S. Образцы кремния, легированные цинком, имели относительно большие удельные электрические сопротивления и концентрацию электронов, что свидетельствует о сильной компенсации проводимости.

Ключевые слова: Вольтамперная характеристика (ВАХ), Полупроводники, Глубокие уровни (ГУ), Закон Ома, Степенная зависимость

Известно, что вид вольтамперной характеристики (ВАХ) полупроводников, содержащих глубокие уровни (ГУ), может иметь три или более характерных участков [1]. Обычно на первом участке наблюдается линейная зависимость тока от приложенного напряжения, т.е. выполняется закон Ома. На втором участке имеет место степенная зависимость между током и напряжением, т.е. зависимость типа $I = U^n$, где $n \geq 1$. На третьем участке в зависимости $I(U)$ начиная с определенных значений напряжения наблюдается резкое увеличение тока. Далее с увеличением напряженности электрического поля наблюдается уменьшение тока, т.е. имеет место область с отрицательной дифференциальной проводимостью (ОДП). Обычно ОДП бывает N- или S- типа. Возможны также комбинации

ОДП S- и N- типов. При определенных условиях они могут сменять друг друга, а также возможно превращение S-образной ВАХ на N-образную с течением времени [2, 3]. Статистическая характеристика может иметь и более сложную форму. Наблюдение ВАХ с областью ОДП связано с неустойчивостями тока, т.е. могут наблюдаться колебания тока или напряжения с различными частотами и формами в зависимости от условий эксперимента [4].

В настоящем сообщении приводятся экспериментальные результаты зависимости плотности тока j от напряженности электрического поля E сильно компенсированных образцов кремния, легированных цинком с квантовыми точками. В наших экспериментах были использованы образцы кремния с n-типом проводимости диффузионно легированных цинком. Цинк чистотой 99,99 % был введен методом высокотемпературной диффузии в исходной кремний n-типа, содержащий фосфор с концентрацией $\sim 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. При этом концентрация цинка составляла $\sim 4 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. После процесса высокотемпературной диффузии образцы имели относительно большие удельные электрические сопротивления ($\sim 1,1 \cdot 10^3 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ при $T=300 \text{ K}$) с концентрацией электронов $\sim 1,47 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$ [5].

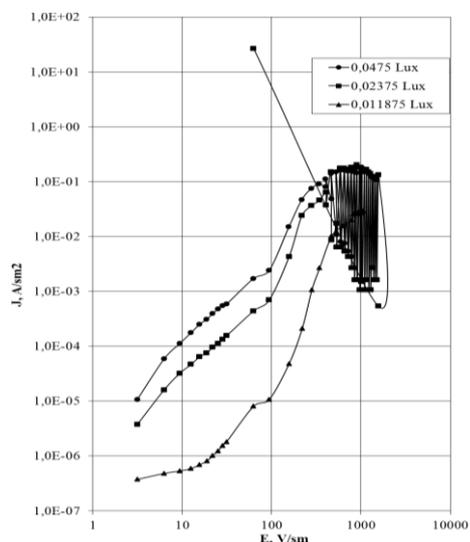


Рисунок 1. ВАХ образцов n-Si<P, Zn> при различных низких освещенностях интегрального света. $T = 80 \text{ K}$.

Исследования ВАХ в образцах n-Si<P, Zn> проводились при различных фоновых освещенностях интегрального света при температуре $T=80 \text{ K}$. Темновая ВАХ из-за большого удельного сопротивления образцов n-Si<P, Zn> при $T=80 \text{ K}$ не была измерена. Вид ВАХ образцов сильно зависит от степени освещенности образцов. При относительно низкой освещенности ($0,05 \div 0,01 \text{ Lux}$) ВАХ образцов состоит из несколько четко выраженных участков (см. рис. 1, кривая 1): первый участок – когда приложенная напряженность электрического поля в образце меньше чем $12,6 \text{ В/см}$ наблюдается зависимость вида $I = U^{0,22}$, второй участок – когда E находится в интервале значений $12,6 \text{ В/см} \leq E \leq 18,9 \text{ В/см}$ наблюдается зависимость вида $I = U^{0,77}$, третий участок – когда E лежит в интервале значений $19 \text{ В/см} \leq E \leq 62,9 \text{ В/см}$ наблюдается почти квадратичная зависимость, т.е. $I = U^{1,91}$, четвертый участок – когда E находится в интервале значений $62,9 \text{ В/см} \leq E \leq 94,3 \text{ В/см}$ снова наблюдается зависимость близкая ко второму участку, т.е. зависимость вида $I = U^{0,71}$. Дальнейшее увеличение E в интервале значений $94,3 \text{ В/см} \leq E \leq 471,1 \text{ В/см}$ приводит к резкому возрастанию тока. При этом зависимость $I(U)$ имеет следующий вид: $I = U^{4,26}$. Когда значение E лежит в интервале $471,1 \text{ В/см} \leq E \leq 816,1 \text{ В/см}$ наблюдается зависимость вида $I = U^{1,65}$. Дальнейшее увеличение

E не приводит к заметным изменениям значений тока, т.е. имеется слабая зависимость вида $I = U^{0,52}$.

Увеличение интенсивности освещения интегрального света приводит к заметному изменению как характера зависимости $I(U)$, так и области существования той или иной зависимости по напряженности электрического поля.

Так, например, увеличение интенсивности интегрального освещения от 0,012 Lux до значений 0,048 Lux приводит к уменьшению числа характерных участков от 8 до 6, кроме того, в зависимости $I(U)$ добавляются участки с ОДП как N - так и S - типов, чередующихся неустойчивостями тока (автоколебания тока).

При относительно больших интенсивностях интегрального света в зависимости $I(U)$

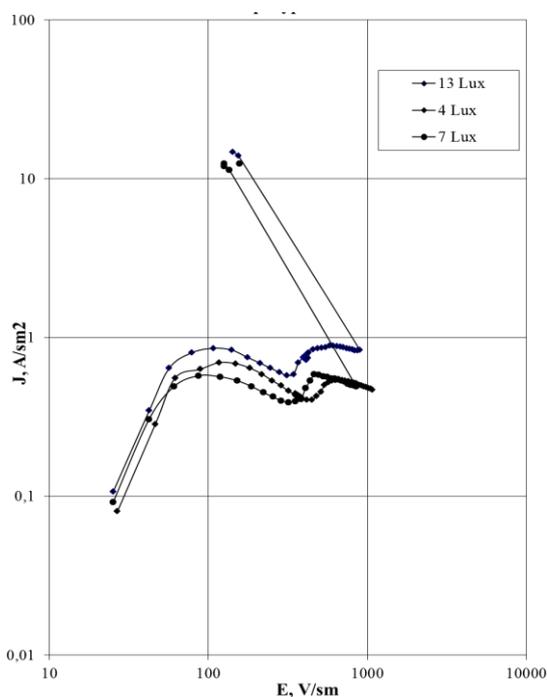


Рисунок 2. ВАХ образцов n-Si<P, Zn> при различных средних освещенностях интегрального света. $T = 80$ К.

наблюдается одна зависимость вида $I = U^{0,77}$ в интервале $25,2 \text{ В/см} \leq E \leq 42,1 \text{ В/см}$ (см. Рис.2). Дальнейшее увеличение E приводит к уменьшению скорости роста тока, который, проходя через максимум, начинает уменьшаться, т.е. наблюдается область ОДП. Дальнейшее увеличение E приводит ко второму участку с ОДП. Два последовательных N - образных участка находятся в интервале значений $42,1 \text{ В/см} \leq E_1 \leq 319 \text{ В/см}$ и $320 \text{ В/см} \leq E_2 \leq 751 \text{ В/см}$ соответственно. Дальнейшее увеличение E после окончания второго N образного участка приводит к резкому возрастанию тока. При некотором критическом значении E_K в кривой зависимости $I(U)$ наблюдается S - образный участок.

Полученные результаты могут быть трактованы, как если считать, что атомы цинка в кремнии при сильной компенсации образуют не только глубокие уровни, но и квантовые точки

с большими сечениями захвата носителей заряда [6, 7].

Список использованной литературы

1. Ламперт М., Марк П. Инжекционные токи в твердых телах. М., Мир. 1973.
2. Бонч-Бруевич В. Л., Звягин И. П., Миронов А. Г. Доменная электрическая неустойчивость в полупроводниках. Главная редакция физико-математической литературы издательство «Наука», 1972, 416 с. С. 36-45.
3. Zhang J., Shklovskii B. I. Density of States and Conductivity of Granular Metal or Array of Quantum Dots// Phys. Rev. B. 2004. Volume 70. P. 115317-1-115320-13.
4. Герасименко Н. Н., Пархоменко Ю. Н. Кремний - материал нанoeлектроники. - М.: Техносфера, 2007. - 352 с; С. 43-45.

5. Бахадырханов М. К., Исамов С. Б. Спектры энергетических уровней многозарядных нанокластеров атомов марганца в кремнии. // Электронная обработка материалов. 2011. №6. С. 8-11.
6. Бахадырханов М.К., Исамов С.Б., Зикриллаев Н.Ф., Хайдаров К. Наноразмерная варизонная структура в кремнии с многозарядными нанокластерами// Микроэлектроника. 2013. том 42. вып 6. С. 444-446.
7. Абдурахмонов К.П., Лебедев А.А., Крейслль Й., Утамурадова Ш.Б. Глубокие уровни в кремнии, связанные с марганцем // ФТП. 1985. Т. 19. № 2. С. 213–216.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ ЛОТКИ-ВОЛЬТЕРА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДВУХ ПАРАМЕТРОВ В БИОМАТЕРИАЛАХ

Умаров Н.Н.

Худжанский государственные университет им. ак. Бободжана Гафурова

Аннотация. В статье исследуется применение модели Лотки-Вольтера при взаимодействии двух и более параметров. Установлено, что при воздействии двух параметров или систем друг на друга колебания повторяются как колебания гармонического осциллятора. Установлено, что при увеличении числа взаимодействующих параметров амплитуда колебаний монотонно уменьшается. Модель Лотки-Вольтера может быть использована для моделирования взаимодействия двух или более параметров.

Ключевые слова: математическое моделирование, уравнение Лотки-Вольтера, гидроксильная группа, активные радикалы, ствол сосны

Известно, что в научной практике часто встречаются взаимодействия между двумя параметрами, системами или различными величинами. В современной науке математическое моделирование физических процессов играет важную роль. В связи с этим определено, что математические модели – это язык, на котором формулируются наши представления о физических явлениях в природе. Математическое моделирование широко применяется для прогнозирования взаимодействия между двумя параметрами. Одним из распространённых методов моделирования систем является модель Лотки-Вольтера, представляющая взаимодействие двух типов: «хищник – жертва» [1-3].

Теоретическая особенность модели Лотки-Вольтера состоит в том, что она является консервативной системой и имеет первый интеграл движения. В системе уравнений учтено незначительное изменение правой части формулы (1), что приводит к качественному изменению динамического характера.

Однако наличие устойчивого предельного периода, характерного для грубых динамических систем, способствует расширению области применения модели [2, 3].

Целью данной работы является изучения математическое моделирование взаимодействия двух и более параметров по уравнению Лотки-Вольтера.

Уравнение Лотки-Вольтера часто решает задачи в физико-химической, биофизической и экологической областях [4-6]. В связи с этим предположим, что исходное количество жертв $R := 6$ и хищников изменилось $C :=$ от 3 до 5.

Предполагается, что жертва (жертвы) увеличивается с коэффициентом $x:=1$ без влияния внешних факторов, хищник (хищники) уменьшается с коэффициентом $y:=1$.