

## ПРИМЕНЕНИЕ КНИ ДИОДОВ В КАЧЕСТВЕ АКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЯЧЕЙКИ БРОКАУ

Тимофеев К.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Бондаренко В.П. – доцент, заведующий НИЛ 4.3, к.т.н.

В работе представлены результаты измерения электрофизических параметров цепочек диодов, выполненных по технологии «кремний на изоляторе» для использования их в качестве активных элементов датчика температуры на основе ячейки Брокау.

Температура является одним из наиболее существенных параметров для различных процессов. Существует множество способов и инструментов измерения температуры. Среди них выделяются полупроводниковые датчики. Принцип их работы основан на зависимости вольт-амперной характеристики р-п-перехода от температуры. Современные интегральные датчики температуры базируются на ячейках Брокау [1], чувствительный элемент которой представляет собой цепочки биполярных транзисторов в диодном включении. Такие транзисторы производятся по КМОП технологии на объемном кремнии. Такая технология обладает рядом недостатков. Альтернативой объемному кремнию является технология «кремний на изоляторе» (КНИ), приборы, изготовленные по которой, обладают более низким энергопотреблением, высокими пробивными напряжениями, большим быстродействием [2]. Основным преимуществом является расширение температурного диапазона работы. Он увеличивается с 125 градусов для объемного кремния до 225 градусов, в некоторых выборках до 250 градусов, отдельных приборов более 300 градусов. Другим важным преимуществом является снижение паразитных емкостей, вследствие уменьшения площади р-п-перехода, что увеличивает быстродействие КНИ приборов.

Для определения возможности использования КНИ диодов как чувствительных элементов ячейки Брокау проводилось измерение их вольт-амперных характеристик при изменении температуры. В качестве КНИ диодов использовались островки кремния, выращенные на окисле кремния. В связи с невозможностью достижения необходимой точности измерения одиночных диодов были использованы их соединения в цепочки. В каждой цепочке различное значение ширины единичного диода и подобрано их количество так, чтобы общая ширина оставалась постоянной. Измерения, проведенные в диапазоне температур от 30 до 150 градусов, оценивались по линейности температурного коэффициента при изменении температуры. Измерения проводились при прямом смещении р-п-перехода на токе 20 микроампер (рисунок 1).

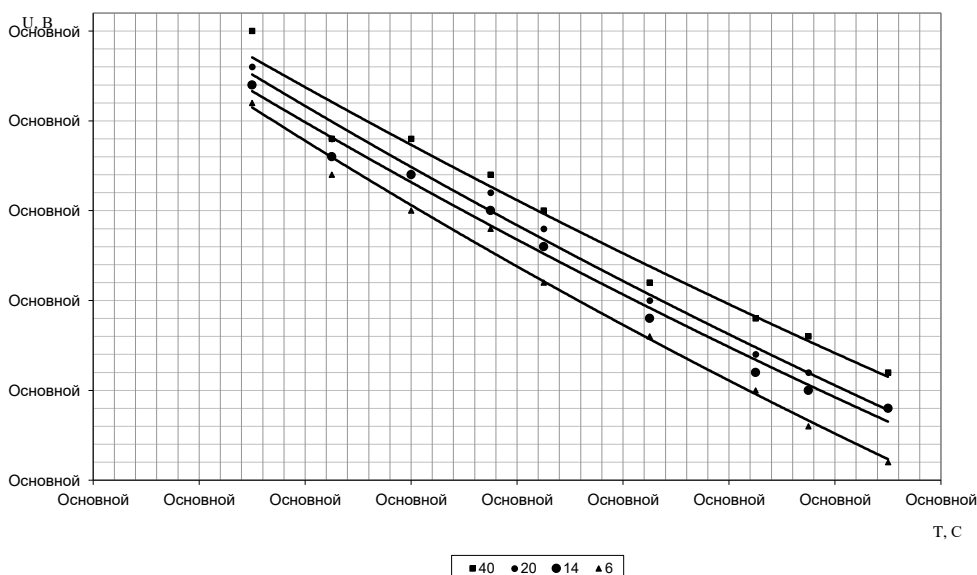


Рисунок 1 – Зависимость напряжения диода от температуры при токе 20 мкА

Температурные коэффициенты напряжения на р-п-переходах цепочек КНИ диодов в изученном диапазоне температур линейны. Отклонение от линейности не превышает 6 %. Исходя из этого, КНИ диоды могут быть использованы как чувствительные элементы температурного датчика на основе ячейки Брокау.

**Список использованных источников:**

1. Challenge of High Performance Bandgap Reference Design in Nanoscale CMOS Technology / Jun-an Z. [et al.] // Outlook and Challenges of Nano Devices, Sensors, and MEMS. – Springer, Cham, 2017. – P. 45-68.
2. Ishibashi T. Device characteristics of the thin-film silicon-on-insulator power MOSFETs at high temperatures / T. Ishibashi, Y. Morisawa, S. Matsumoto // Japanese Journal of Applied Physics. – 2014. – Т. 53. – №. 6. – P. 064102.

## **ФОРМИРОВАНИЕ И СВОЙСТВА ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ КАТОДНОГО ЭЛЕКТРОСАЖДЕНИЯ ЛЕГИРОВАННЫХ НИКЕЛЕМ ПЛЕНОК ОКСИДА ЦИНКА**

*Янушкевич К.О.*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Чубенко Е. Б. – канд. техн. наук*

В работе проведены исследования процесса формирования тонких пленок оксида цинка (ZnO), осажденных методом катодного электрохимического осаждения на подложки монокристаллического кремния, и изучены их оптические и структурные свойства. По данным рамановской спектроскопии, полученные пленки состоят из кристаллического ZnO с примесью никеля, на что указывает увеличение интенсивности полосы при  $1050\text{ см}^{-1}$  и сглаживание полосы на  $1150\text{ см}^{-1}$ . Наибольшей однородности и степени кристаллизации полупроводника удалось достичь при плотности тока  $15\text{ мА/см}^2$ . Так же, полученные пленки демонстрируют связанную с дефектами кристаллической решетки фотолюминесценцией в желтом диапазоне спектра.

Полупроводниковый оксид цинка (ZnO) может использоваться в широком спектре применений: химических датчиках, фото-, опто- и пьезоэлектрических устройствах [1]. Одно из направлений, где ZnO может проявить себя – спинтроника на основе разбавленных магнитных полупроводников [2]. Теоретически было предположено, а позже и продемонстрировано, что разбавленные полупроводники на основе ZnO проявляют ферромагнетизм при комнатной температуре при легировании различными переходными металлами (Co, Mn, Fe, Ni, Cr и т.д.) [3]. В данной работе было исследовано влияние режимов электрохимического осаждения на оптические и структурные свойства ZnO легированного Ni.

Экспериментальные образцы изготовлены методом электрохимического катодного осаждения. В качестве подложки использовались кремниевые (Si) пластины марки ЭКЭС-0,01 (111). Для осаждения использовался водный раствор электролита, содержащий  $0,1\text{ М Zn(NO}_3)_2$  и  $0,01\text{ М Ni(NO}_3)_2$ . Осаждение проводилось в гальваностатическом режиме при плотностях тока  $15 - 30\text{ мА/см}^2$  при температуре электролита  $80\text{ }^\circ\text{C}$ . Анализ химического состава и структуры полученных пленок проводился методом рамановской спектроскопии на 3D-сканирующем лазерном конфокальном Рамановском микроскопе SOL Instruments Confotec NR500 с использованием лазера с длиной волны  $473\text{ нм}$ . Спектры фотолюминесценции были исследованы на лазерном спектральном измерительном комплексе. Возбуждение фотолюминесценции осуществлялось монохроматическим излучением с длиной волны  $340\text{ нм}$ , выделенным из спектра излучения Хе лампы. Для регистрации спектров использовался оснащенный цифровой камерой монохроматор-спектрограф Solar TII MS 7504i.

На рисунке 1 представлены спектры рамановского рассеяния полученных образцов. На всех спектрах присутствуют моды, характерные для кристаллического ZnO и Si. С увеличением времени осаждения ZnO при постоянной плотности тока, а значит и с увеличением количества осадка, пик полосы на  $\sim 1050\text{ см}^{-1}$  приобретает большую интенсивность, в то время как полоса с пиком  $\sim 1150\text{ см}^{-1}$  все более выравнивается, что соответствует увеличению концентрации дефектов, создаваемых в кристаллической решетке ZnO ионами легирующей примеси с ростом толщины пленки [4].

При плотности тока осаждения  $15\text{ мА/см}^2$  разница между модами  $1050$  и  $1150\text{ см}^{-1}$  увеличивается более резко при том же времени осаждения, по сравнению с образцами, полученными при  $20$  и  $30\text{ мА/см}^2$ .

Спектры фотолюминесценции образцов полученных тонких пленок ZnO представлены на рисунке 2. Единственная интенсивная полоса фотолюминесценции, наблюдаемая на всех спектрах, соответствует излучательным переходам через глубокие уровни в запрещенной зоне полупроводникового ZnO ( $\sim 2,12\text{ эВ}$ ). При изменении режимов формирования образцов максимум полосы излучения смещается незначительно:  $585 \pm 4\text{ нм}$ . Происхождение желтой фотолюминесценции связано с кислородными дефектами – вакансиями и междоузельными атомами [5]. Как видно из рисунков, с уменьшением плотности тока при сохранении времени осаждения максимум полосы фотолюминесценции смещается в сторону УФ-диапазона. Так, для