

## **ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ОТЖИГА НА ХАРАКТЕР ПРОВОДИМОСТИ УГЛЕРОДНЫХ ПЛЕНОК, ЛЕГИРОВАННЫХ НИКЕЛЕМ**

**Шалаев Р.В., Изотов А.И., Кильман Г.В., Сироткин В.В.**

*Государственное учреждение Донецкий физико-технический институт  
им. А.А. Галкина, Донецк, Украина, sharos@donfti.ru*

Введение в углеродные пленочные структуры различных примесей позволяет в широких пределах менять оптические и электрические свойства таких покрытий, что, учитывая довольно широкий спектр применения углеродных пленок [1,2], может быть весьма интересно во многих прикладных областях. Благодаря уникальности своих свойств, углеродные материалы давно рассматриваются как потенциальный заменитель кремния в микроэлектронике [3,4]. Примером потенциальной области применения таких структур являются полностью углеродные солнечные элементы, которые могут быть эффективными, недорогими, доступными для печати на легкоплавкие материалы, гибкими и, в то же время, достаточно жесткими, чтобы выдерживать экстремальные условия и погоду. Благодаря своей универсальности и вариативности свойств, углерод в той или иной форме может быть использован для каждого компонента солнечной батареи (р-п перехода, съемных контактов, защитного слоя). В связи с этим изучение структуры и свойств этих материалов (в частности, их оптических и электрических характеристик), а также их модификация представляют значительный практический интерес. В данной работе рассмотрены некоторые особенности углеродных пленок, легированных никелем, а также влияние отжига в атмосфере на их вольт-амперные характеристики (ВАХ).

Пленки для исследований выращивались методом магнетронного распыления комбинированной мишени в атмосфере аргона при температурах подложки 80...350°C. Подложки из пьезоэлектрического стекла предварительно очищались в смеси растворителей. Плазма создавалась с помощью магнетрона планарной конструкции с плоским катодом и кольцевым анодом, мощностью не более 20 Вт. Никель вводился в структуру пленки в процессе её роста (использовалась комбинированная мишень "углерод-никель"). Полученные пленки последовательно отжигались на воздухе при температурах 200°C, 300°C, 400°C, 500°C и 600°C (каждый раз в течение 20 минут). Изменения ВАХ пленок фиксировались после каждого отжига 4-х зондовым методом при различных температурах (от комнатной до 100°C).

На рисунке 1 представлены ВАХ исходной пленки, не подвергнутой отжигу. Из рисунка видно, что для данного образца в целом наблюдается тенденция роста тока с повышением температуры, что, в общем, характерно для полупроводников, хотя в отдельности оба материала (никель и углерод) демонстрируют металлический тип проводимости.

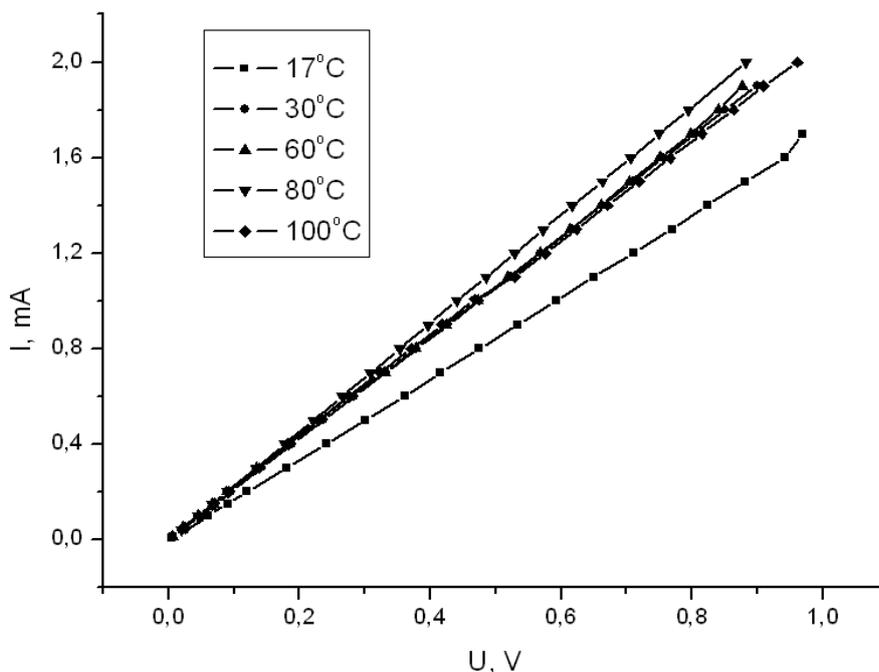


Рисунок 1 - ВАХ пленки углерода, легированной никелем, до отжига

После отжига образца при температуре 200°C наблюдается некоторая термостабилизация ВАХ пленки (кривые фактически сливаются и не зависят от температуры, см. рис. 2), а переход в оксид никеля с характерным полупроводниковым типом проводимости и нелинейным поведением ВАХ наблюдается после 20-минутного отжига всего лишь при 300°C (рис. 3), что существенно отличается от стандартной температуры перехода  $\text{Ni} \rightarrow \text{NiO}$ , которая составляет ~550-600°C для чистых никелевых образцов.

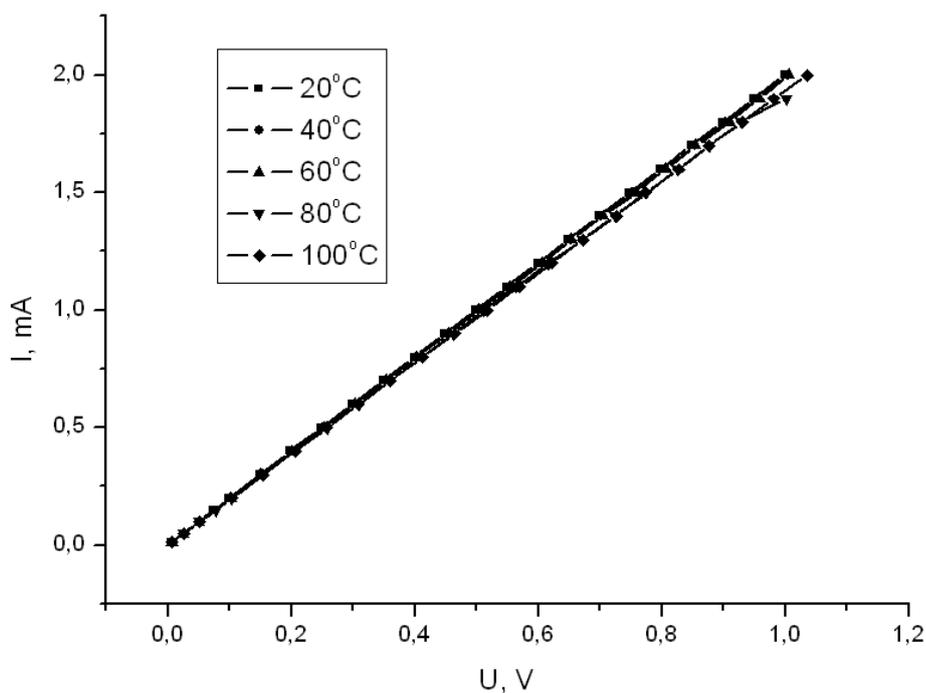


Рисунок 2 - ВАХ пленки углерода, легированной никелем, после отжига при 200°C

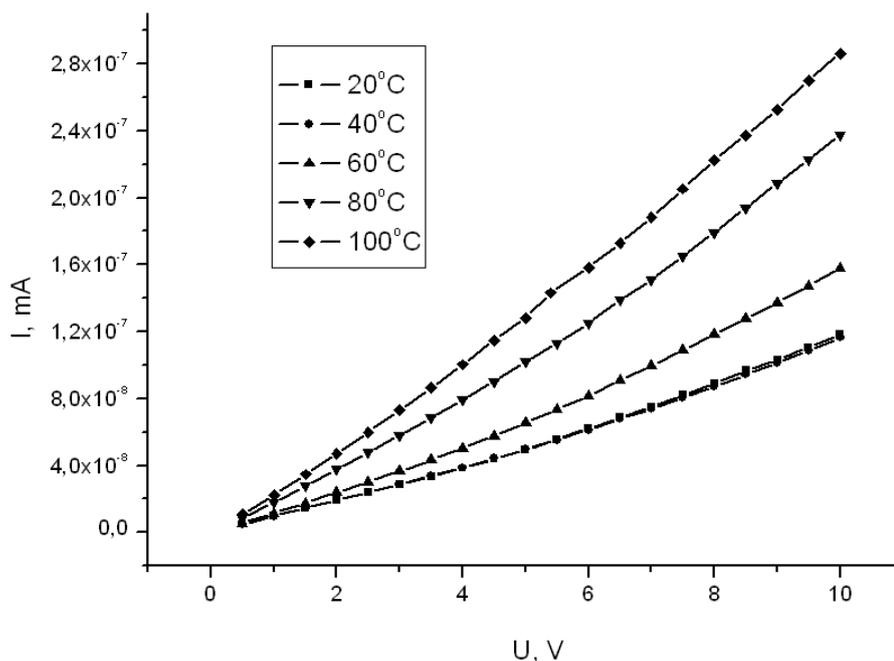


Рисунок 3 - ВАХ пленки углерода, легированной никелем, после отжига при 300°C (переход Ni в NiO)

Такое поведение может объясняться взаимным влиянием углерода и никеля, а также формой их вхождения в структуру (предположительно образуется структура вида “ядро-оболочка”, где никель представлен в виде ядра, облаченного в углеродную оболочку). В целом, как видно, такой материал может кардинально менять свойства при внешнем воздействии - локальном нагреве/отжиге, например, лазерным лучом. В результате получается структура с управляемым типом проводимости, что может быть весьма интересно во многих прикладных областях.

#### Список литературы

1. M. Sibiński, M. Jakubowska, K. Znajdek, M. Sloma, B. Guzowski. *Optica Applicata*. XLI, 375 (2011).
2. H. Zhu, J. Wei, K. Wang, D. Wu. *Solar Energy Materials & Solar Cells*. 93, 1461 (2009).
3. D.A. Gomez-Gualdron, J.M. Beetege, P.B. Balbuena. *J. Phys. Chem. C* 117, 12061 (2013).
4. D. Cheng, W. Wang, S. Huang. *J. Phys.: Condens. Matter*. v.19, 356217 (2007).