

**Терехов А.Г.¹, Константинов Н.В.¹, Перепеловский В.В.¹,
Мошкалев С.А.²**

¹Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ»

²UNICAMP, Campinas, Brazil

Исследование динамической формовки контактов к многослойным графеновым нанолентам

Произведено исследование влияния термического и динамического отжига на вольт-амперные характеристики многослойных графеновых нанолент. Исследование реализовано на базе программно-аппаратного информационно-измерительного комплекса, представляющего собой автоматизированную систему динамической формовки контактов к многослойным графеновым нанолентам.

Ключевые слова: Распределенная система, LabView, многослойные графеновые наноленты, вольт-амперные характеристики, отжиг.

Введение

В последнее время, большое внимание уделяется изучению графена [1-6] – гексагонального монослоя атомов углерода. В данной работе внимание уделяется влиянию динамического и статического отжига на параметры контактов графеновых нанолент. Особенность работы заключается в том, что экспериментальные образцы нанолент имеют многослойную структуру [7-9], т.е. они состоят из десятков слоев графеновых нанолент. Особый интерес вызывает контактные свойства графена и металла [10], а также влияние отжига на эти свойства.

Экспериментальная установка и образцы

Для исследования вольт-амперной характеристики, в работе используются распределенная система из трех блоков ICP I7000: I7018 (АЦП), I7024 (ЦАП), I7065 (блок реле). Данные блоки связаны между собой в единую систему и подключены к блоку преобразований интерфейсов по протоколу RS485. Данный блок же, получает команды по протоколу TCP/IP посредством сети университета, и пересылает их модулям I7000.

Для исключения выхода из строя образцов, в схему был добавлен защитный резистор. Он используется при первоначальном подключении образца, чтобы избежать прямого попадания наводок и статического электричества на образец. Далее, после подключения в систему образца, на него подается фиксированный потенциал и при помощи блока реле, отключается защитное сопротивление. Принципиальная схема установки показана на рис. 1.

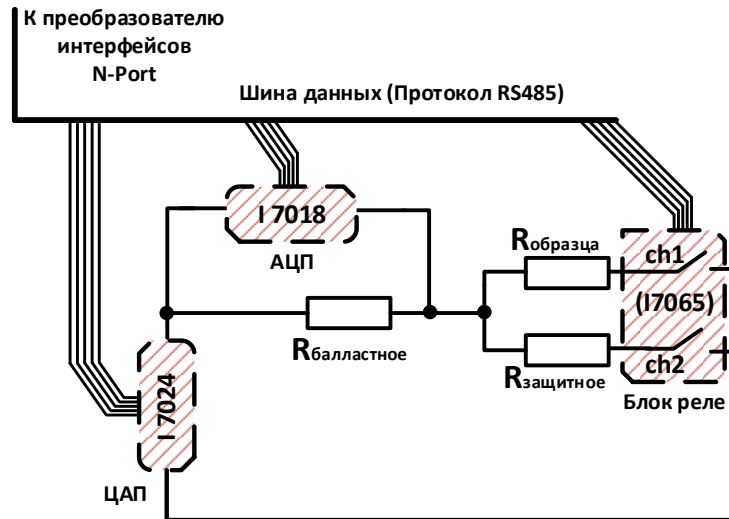


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема установки.

Для осуществления управления установкой, используется метод графического программирования в среде LabView. Запрос действия происходит по протоколу TCP/IP. В системах на базе модулей I7000 обмен информацией ведется по принципу Master-Slave. Ведущим устройством является ПЭВМ, управляющая работой автоматизированной системы в соответствии с ее назначением. Обмен информацией выполняется в кодах ASCII. Управление модулями осуществляется с помощью набора специальных команд. Пример использование этих команд приведен на рис. 2.

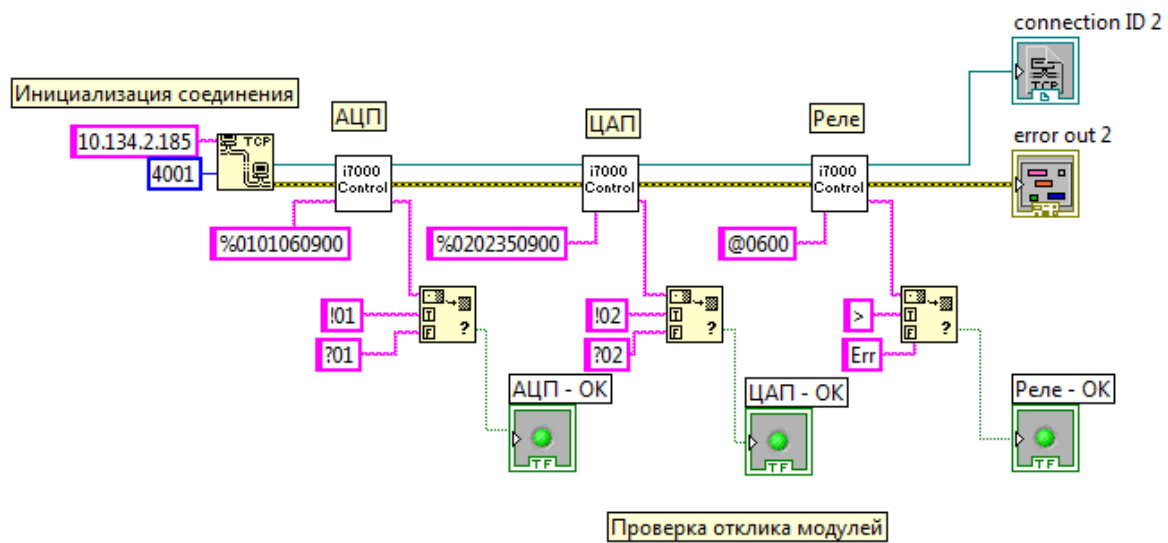


Рис. 2. Фрагмент программного кода подпрограммы инициализации промышленных модулей I7000.

Разработанное программное обеспечение позволяет работать как в ручном, так и в автоматическом режиме. При работе в автоматическом режиме имеется возможность установить временные интервалы, через которые необходимо проводить измерения ВАХ, а также имеется возможность задать напряжение, поддерживаемое на образце между измерениями. Установленное постоянное напряжение используется для проведения динамического отжига образца.

Экспериментальные образцы были предоставлены университетом города Кампинас, Бразилия. Образцы были синтезированы методом осаждения углерода из газовой фазы (CVD). Каждый из образцов состоит из двух токопроводящих полосок Ti, с зазором в 1 мкм, и помещенной сверху многослойной графеновой наноленты. Фотография образца показана на рис. 3.

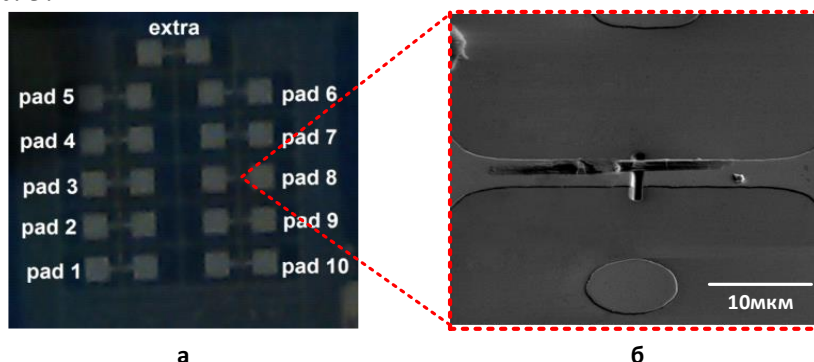


Рис. 3: а) снимок системы электродов, б) снимок одного из образцов графеновых нанолент на электроде (масштаб порядка 10мкм).

Результаты

В процессе работы были исследованы образцы многослойных графеновых нанолент с металлическими контактами. Для каждого из образцов были проведены измерения ВАХ. При этом производилось исследование влияния термического и динамического отжига на ВАХ образцов. Полученные результаты представлены на рис. 4.

После проведения первого термического отжига (200 °С) сопротивление образцов уменьшилось, но сохранялась нелинейность ВАХ. Для всех образцов, прошедших два цикла термического отжига при 200 и 500 °С, свойственен линейный вид ВАХ.

Поверхность металла имеет неидеальную поверхность, вследствие чего графеновая нанолента лежит на остриях титана.

Из полученных результатов динамического отжига видно, что динамический отжиг приводит к стабилизации ВАХ, а сопротивление увеличивается и стремится к некому равновесному значению, что видно на рис. 5.

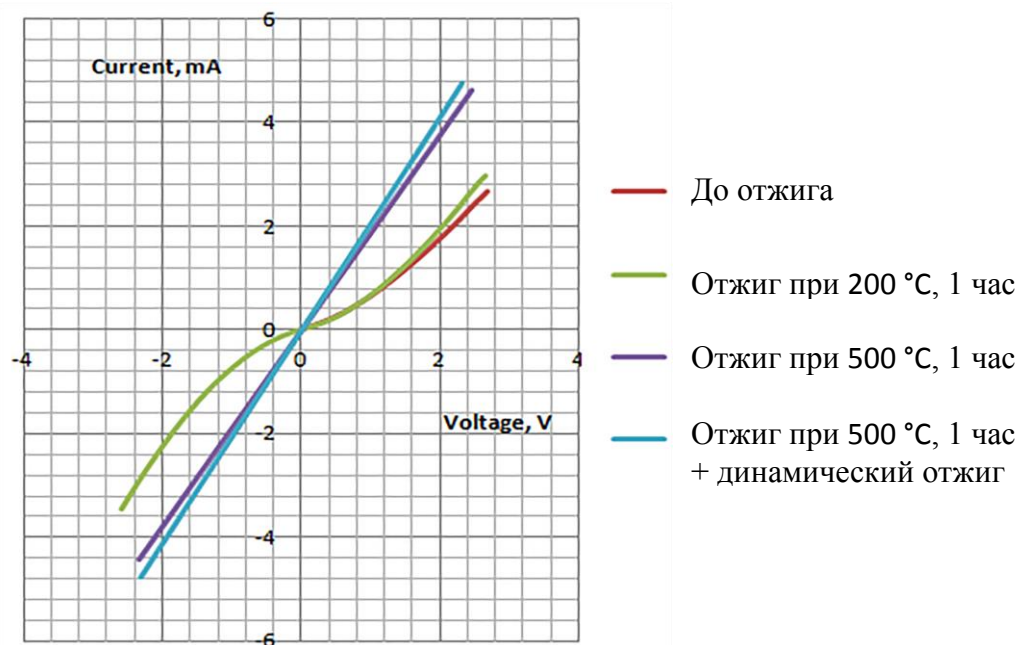


Рис. 4. ВАХ многослойной графеновой наноленты.

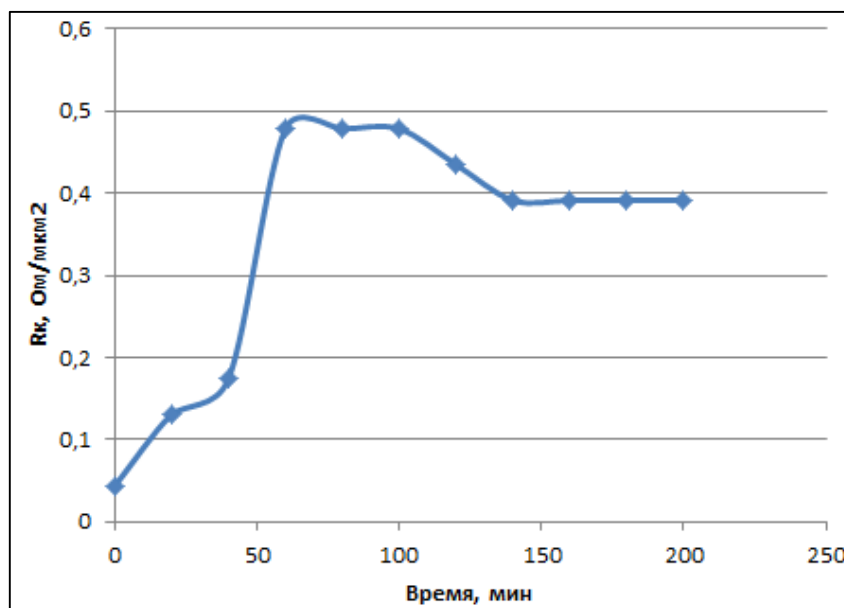


Рис. 5. Зависимость сопротивления контактов образца от времени динамического отжига.

Из графика 5 видно, что со временем происходит осцилляция сопротивления контактов. Это объясняется тем, что с течением времени, динамический отжиг приводит к стабилизации сопротивления и обеспечивает формирование устойчивого контакта металл – графеновая нанолента.

Выводы

В ходе изучения влияния динамического отжига выявлены закономерности процесса формовки контакта металл – графеновая нанолента. Полученные результаты показали, что статический отжиг не гарантирует стабильность состояния контакта металл – графеновая нанолента. Данная проблема решается при помощи пропускания тока через образец в течении длительного времени, что приводит к стабилизации сопротивления образца и формированию устойчивого контакта.

Реализована автоматизированная система измерений параметров контактов многослойных графеновых нанолент. При помощи данной системы были произведены измерения вольт-амперных характеристик образцов и исследованы их электрофизические свойства.

Библиографический список

1. K.S. Novoselov, A.K. Geim, S.V. Morozov, D. Jiang, Y. Zhang, S.V. Dubonos, I.V. Grigorieva, A.A. Firsov. *Science*, 306(5696), 666 (2004)
2. Novoselov K.S., Geim A.K., Morozov S.V. et al. // *Science*. – 2004. – 306. – P. 666 – 669.
3. Y.-W. Son, M.L. Cohen, S.G. Louie. *Phys. Rev. Lett.*, 97(21), 216 803 (2006)
4. М.Б. Белоненко, Н.Г. Лебедев, А.В. Пак. *Известия высших учебных заведений*, Т. 55, № 6
5. Nagashio, K.; Nishimura, T.; Kita, K.; Toriumi, A. *Metal/Graphene Contact as a Performance Killer of Ultra-high Mobility Graphene—Analysis of Intrinsic Mobility and Contact Resistance*. Presented at the International Electron Devices Meeting, Washington DC, USA, 7–9 December 2009.
6. Nagashio, K.; Nishimura, T.; Kita, K.; Toriumi, A. *Contact resistivity and current flow path at metal/graphene contact*. *Appl. Phys. Lett.* 2010, 97, 143514:1–143514:3.
7. C.N.R.Rao, A.K.Sood, K.S.Subrahmanyam, A.Govindaraj. *Angew. Chem., Int. Ed.*, 48, 7752 (2009)
8. C.N.R.Rao, A.K.Sood, R.Voggu, K.S.Subrahmanyam. *J. Phys. Chem. Lett.*, 1, 572 (2010)
9. B.Jang, A.Zhamu. *J. Mater. Sci.*, 43, 5092 (2008)
10. CaterinaSoldano, SaikatTalapatra *Electronics* 2013, 2, 280-314