

# Графен и фоторезистивный эффект<sup>1</sup>

ШАКИРЗЯНОВ Ф.Н.

*Октябрь 2010 г. принес приятную новость: российские (частично и в прошлом) ученые увеличили число Нобелевских премий, полученных отечественными физиками, до семи. Андрей Гейм и Константин Новоселов удостоены Нобелевской премии по физике за получение двумерной графитовой пленки (графена) и экспериментальное изучение ее свойств. Они обнаружили замечательное свойство графена – способность менять сопротивление при приложении электрического поля, что открывает, по мнению ученых, новую эру – эру графитовой полупроводниковой электроники. Это мнение основывается на принадлежности углерода к четвертой группе периодической системы элементов Д.И. Менделеева, где расположены кремний и германий, отменно «послужившие» полупроводниковой электронике.*

*В связи с открытием свойств графена, пожалуй, уместно воспроизвести здесь наш доклад «Фоторезистивный эффект в проводниках», представленный на VI Международной конференции по физико-техническим проблемам электротехнических материалов и компонентов (ICEMC–2001) и опубликованный в ее трудах<sup>2</sup>.*

## Фоторезистивный эффект в проводниках

ШАКИРЗЯНОВ Ф.Н., НОВИКОВ В.А.,  
ШАКИРЗЯНОВ М.Ф.

(Московский энергетический институт)

В работе впервые излагаются результаты экспериментального исследования фоторезистивного эффекта, обнаруженного Ф.Н. Шакирзяновым и В.А. Новиковым в 1974 г. Обнаруженный эффект заключается в практически безынерционном уменьшении сопротивления (увеличении проводимости) проводящих пленок постоянному току при воздействии на них СВЧ излучения.

Известно, что при СВЧ облучении проводимость металлических пленок уменьшается из-за нагрева. Этот эффект широко используется для создания болометрических головок измерителей мощности СВЧ излучения. Болометрический эффект инерционен. Металлические болометры имеют постоянную времени порядка 0,2 с.

Фоторезистивный эффект был исследован в трехсантиметровом диапазоне длин волн. Пленочные образцы вводились в волновод через неизлучающие щели в узкой стенке. Пленки различных металлов и их сплавов наносились на диэлектрические подложки. Толщина пленок в 1–3 мкм выбиралась в 2–3 раза меньшей глубины проникновения для конкретного проводника на частоте 10 ГГц. Иными словами, исследовались радиопрозрачные пленки. Ширина исследованных образцов 1 мм, длина 23 мм. Эффект увеличения проводимости наблюдался во всех металлах и сплавах, для которых удавалось изготовить пленки, а также в графитовых пленках. Увеличение проводимости согласно результатам экспериментов было пропорциональным напряженности СВЧ электрического поля, т.е. корню квадратному из значения мощности СВЧ колебаний в волноводе. Изменение проводимости регистрировалось измерением падения напряжения на образце от постоянного тока.

Обнаруженный фоторезистивный эффект может быть объяснен многоквантовым внутренним фотоэффектом, приводящим к увеличению концентрации свободных электронов, что и приводит к увеличению проводимости проводников. Другим механизмом, объясняющим увеличение проводимости, может быть ускорение свободных электронов – носителей постоянного тока СВЧ электромагнитным полем.

Фоторезистивный эффект в проводниках может быть использован для создания датчиков – преобразователей мощных радиоимпульсов. Выходной сигнал  $U_{\text{вых}}$  такого преобразователя практически без искажений повторяет форму огибающей радиоимпульса и связан с их импульсной мощностью  $P_{\text{и}}$  формулой  $U_{\text{вых}} = k\sqrt{P_{\text{и}}}|\sin\alpha|$ , где  $k$  – постоянный коэффициент, зависящий от удельной проводимости проводника и тока источника постоянного

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ. Проект №09-08-13558.

<sup>2</sup> Шакирзянов Ф.Н., Новиков В.А., Шакирзянов М.Ф. Фоторезистивный эффект в проводниках. – Тр. VI Международ. конф. по физико-техническим проблемам электротехнических материалов и компонентов (ICEMC–2001), Клязьма (Россия), 2001.

тока, а  $\alpha$  — угол между плоскостью пленки и широкой стенкой волновода.

Таким образом, нами еще в 1974 г. был обнаружен и исследован фоторезистивный эффект в пленках различных металлов и их сплавов, а также в графитовых пленках, т.е. вообще в проводниках. Была установлена возможность управления сопротивлением пленок проводников с помощью электромагнитного поля (а не только электрического). Толщина пленок нами была определена в 2–3 раза меньшей глубины проникновения на частоте, на которой проводились эксперименты. Совершенно очевидно, что с ростом частоты пределом толщины становится одноатомный слой порядка 0,1 нм. Технологии получения двумерных графитовых пленок еще только осваиваются. Пленки из металлов и их сплавов можно создать многими способами. Следует также отметить, что углерод, хоть и является «родственником» кремния и

германия, но в отличие от них графит — проводник, а не полупроводник. В зонной структуре графита отсутствует запрещенная зона. Поэтому создание из проводниковых пленок детекторов и транзисторов будет означать создание не полупроводниковых, а проводниковых вентилях и транзисторов. Кстати, описанное в работе устройство является, по существу, и вентилях, и транзистором с фотоуправлением.

Суммируя сказанное, можно утверждать, что открытие фоторезистивного эффекта в проводящих пленках является фундаментальным результатом, из которого следует и эффект увеличения проводимости графена в электрических полях. Конечно же, это сообщение ни в коем случае не является попыткой утверждения причастности к открытию графена, материала с комплексом и других уникальных свойств, а лишь ещё одним способом привлечения внимания к фоторезистивному эффекту в проводниках.

\* \* \*

### **Зарубежная подписка**

на журнал «Электричество»

оформляется через фирмы-партнеры ЗАО «МК-Периодика» или непосредственно в ЗАО «МК-Периодика» по адресу:

Россия, 111524 Москва, Электродная ул., 10, стр. 3

ЗАО «МК-Периодика»;

тел. (495) 672-70-12; факс (495) 306-37-57

E-mail: [info@periodicals.ru](mailto:info@periodicals.ru)

Internet: <http://www.periodicals.ru>

To effect subscription it is necessary to address to one of the partners of JSC «MK-Periodica» in your country or to JSC «MK-Periodica» directly.

Address: Russia, 111524 Moscow; 10, str.3, Elektrodnaya ul.

JSC «MK-Periodica»

Tel.: (495) 672-70-12; fax (495) 306-37-57

E-mail: [info@periodicals.ru](mailto:info@periodicals.ru)

Internet: <http://www.periodicals.org>