

Как видно из рисунка 3а, применение low-k материалов таких как политетрафторэтилен (PTFE) и ксерогель пористостью 70% в качестве межуровневого диэлектрика позволяют на 20% снизить емкостную составляющую RC-задержки, что в свою очередь уменьшает задержку сигнала межсоединений. На рисунке 3б видно, что выбор материала межсоединений также играет существенную роль в определении величины задержки сигнала. Так, применение меди в качестве материала межсоединений позволяет на 10% снизить резистивную составляющую RC-задержки, что положительно влияет на скорость распространения сигнала.

Исходя из результатов представленных исследований, можно говорить о целесообразности использования ANSYS для быстрого определения величины задержки сигнала в межуровневой структуре межсоединений интегральных микросхем.

Список использованных источников:

1. Исследовать закономерности управления диэлектрической проницаемостью анодного оксида алюминия путём регулирования его пористости и разработать научные основы технологии создания алюмооксидной изоляции с низкой диэлектрической проницаемостью для ИС с субмикронными проектными нормами: отчет о НИР (заключ.) / БГУИР; рук. работы С.К. Лазарук. – Минск, 2004. – Ч.1. – 25с. – № ГР 20011524
2. Kim, S. Modeling and screening on-chip interconnect inductance / S. Kim. – Dresden – 2004. – 157 с.
3. Зайцев, Н. А. Физико-технологические проблемы проектирования ультрабольших интегральных схем с пониженной мощностью потребления / Н. А. Зайцев, И. В. Матюшкин, А. И. Сухопаров // Исследовано в России – 2007. – №2. – С. 25 – 31.
4. Synopsys Inc. Star-RC XT Option User Guide. [Электронный ресурс] – Электронные данные. – Режим доступа: <http://www.synopsys.com/>

PROPERTIES OF COPPER/IRON-MODIFIED GRAPHENE OXIDE NANOCOMPOSITES FOR APPLICATIONS IN NANOMEDICINE

Mikhnavets L., Tabulina L., Labunov V., Radziuk D.

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
Minsk, Republic of Belarus*

Dr. rer.nat. Radziuk D.

Feasible ultrasonic method (20 kHz) was developed for the preparation of new CuS/Cu₂O/CuO and copper/iron-modified graphene oxide nanocomposites with advanced charge carrier properties. Methylene blue dye was used as a probe of the charge transfer property on the surface of CuS/Cu₂O/CuO-graphene oxide in the silica network. It was revealed that the fluorescence from the dye was quenched as a result of the interaction induced by the charge transfer on the CuS/Cu₂O/CuO-GO surface. In addition, unique copper- and copper/iron composition of the graphene oxide nanocomposite can be used as a molecular carrier for the anti-inflammatory drug ketorolac due to the ultrasonically formed particular binding or complexation mechanisms.

Among multifarious biocompatible nanomaterials silica and graphene oxide (GO) have received a great attention in the fields of composite nanomaterials, nanoelectronics and nanomedicine applications. SiO₂ provides monodispersity, higher specific surface area, controllable pore size and diameter, and versatile functionalization [1]. Incorporation of metals, metal/non-metal oxides or polymers into the SiO₂ network improves the interfacial contact, advances conducting pathways and suppresses the charge recombination [2]. GO has attracted a great attention because of its unique properties and a two dimensional molecular structure [3]. Electronic properties of GO arise from the presence of both sp³- and sp²-hybridized carbon bearing various oxygen functional groups: hydroxyl, epoxy/carboxyl and carbonyl arranged on the basal plane and at the edges. However, charge transfer in the pristine GO is poor as the functional groups usually induce the nonradiative recombination by the transfer of their electrons to the holes present in sp² clusters producing localized electron-hole (e-h) pairs. The surface functionalization of the GO with semiconductors (e.g. Cu₂O, CuO, CuS) may enhance the charge transfer of GO and increase its fluorescence.

Among various methods ultrasound is a unique nanotechnological technique that has been successfully applied for the synthesis of novel hybrid nanocomposites with advanced electrical and optoelectrical properties. This technique is based on acoustic cavitation, which is the formation, growth and collapse of gaseous or vapor-filled bubbles. Implosive collapse of these bubbles locally creates high temperature (~ 5000K) and pressure (~ 1000 atm) yielding hot spots, where sonochemistry occurs [4]. Sonochemical method is efficient, fast and convenient enabling assembly of substances at a lower cost in a single step. As a result of it the ultrasonic method overcomes the problems in the synthesis at elevated temperature and pressure, multiple reaction steps and prolonged reaction treatment.

The first aim of our work was to develop a method for the formation of copper-modified graphene oxide nanocomposite and examine its morphology. The second goal was to probe the charge transfer property of this new nanocomposite in the use of methylene blue (MB) dye and Raman microscopy. MB

was chosen because it belongs to the family of the electroactive dyes being used in chemical sensors and photoelectrocatalytic surfaces. The knowledge about the electronic properties of this new nanomaterial was further expanded through the modification of GO with both copper and iron compounds with the aim to study the interaction of copper/iron-modified@GO nanomaterial and organic substance such as the non-steroidal anti-inflammatory drug ketorolac tromethamine.

The morphologies of copper-modified@GO and copper/iron-modified@GO nanocomposites are shown in Figure 1A and B in the use of SEM technique. SEM images reveal small spherical nanostructures (~ 30 nm) in the carbon network structure (~ 490 nm) of copper-modified GO nanocomposites (Figure 1A), and larger nanostructures with an oval shape (~ 70 nm) in GO of copper/iron-modified@GO nanocomposites (Figure 1B).

For the study of the charge transfer property ultrasonic method was applied for the preparation of microspheres with a silica-core and CuS/Cu₂O/CuO-GO-shell and the fluorescence quenching of MB was used as a probe of it. Raman spectra revealed multiple peaks from MB and small peaks from liquid silica phase as well as D and G bands of GO, indicating the successful encapsulation of MB into the silica-GO network of microspheres (Figure 1C). If the shell of the microspheres is composed of the sonochemically formed CuS/Cu₂O/CuO-GO nanocomposite, the continuum due to the fluorescence was quenched as a result of the interaction induced by the charge transfer on the CuS/Cu₂O/CuO-GO surface and adsorbed MB. We assume that the majority of MB molecules are adsorbed on the CuS/Cu₂O/CuO-GO surface because MB is a cationic dye and the nanocomposite is negatively charged, and due to the presence of sulfur, which additionally favors the dye deposition on GO.

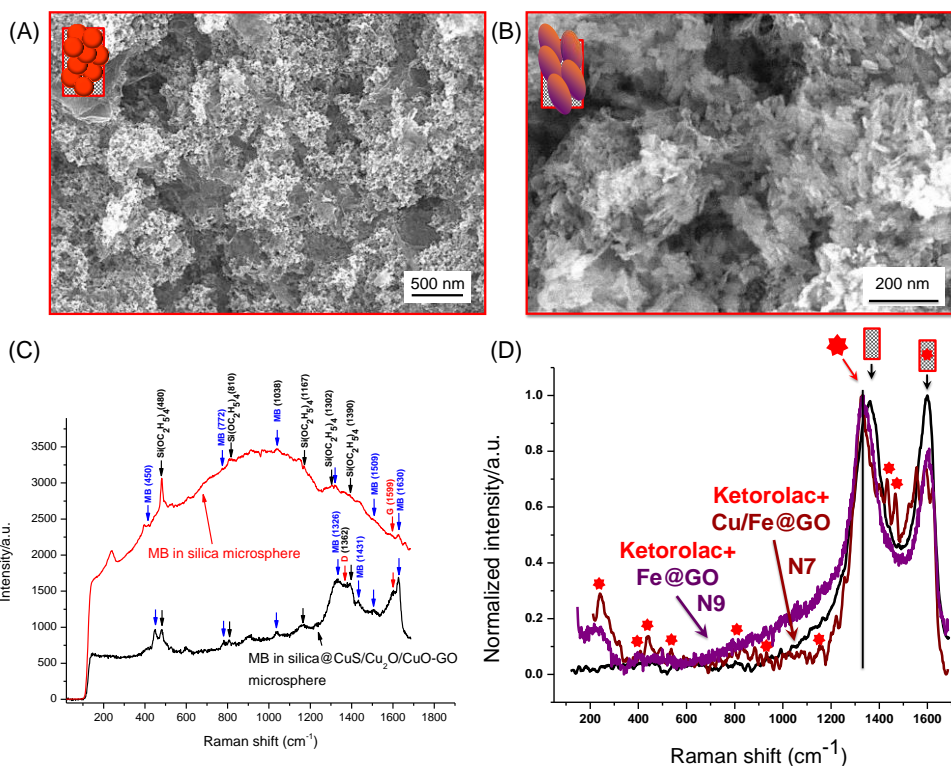


Figure 1 – representative SEM images of copper-modified (a) and copper/iron-modified (b) graphene oxide nanocomposites; c) Raman spectra of silica microspheres with impregnated methylene blue dye and copper-modified graphene oxide nanocomposite (black color coding) or without the nanocomposite (red color coding); d) Raman spectra of copper/iron-modified graphene oxide with the intercalated non-steroidal anti-inflammatory (NSAID) drug ketorolac tromethamine (wine color coding) and iron-modified graphene oxide with the same NSAID (violet color coding).

For the study of the electronic interaction we ultrasonically prepared copper/iron-modified@GO nanocomposites and intercalated ketorolac tromethamine. Raman spectra reveal characteristic bands of ketorolac being in agreement with many NSAIDs [5] and D (1360 cm⁻¹) and G (1606 cm⁻¹) main peaks of GO [6]. Most of these Raman peaks from the ketorolac appear in the synthesized GO and copper/iron@GO, but are broader and less defined in iron@GO nanocomposite. The intense Raman peak of ketorolac (1328 cm⁻¹) originates from a characteristic band of the γ -amorphous form of ketorolac and its stronger delocalization illustrates the significant contribution by carboxylate groups of GO. Another prominent Raman peak of ketorolac at 1628 cm⁻¹ is shifted towards the G band of the GO and iron@GO, but not in copper/iron-modified@GO, and appears as a shoulder in all samples, perturbing the G peak, indicating particular binding or complexation mechanisms.

In conclusion, a new sonochemical method was successfully developed for the synthesis of novel CuS/Cu₂O/CuO-GO nanocomposites with advanced charge carrier properties due to the presence of three copper phases such as CuS/Cu₂O/CuO in the GO network. Ultrasonic intercalation of methylene blue (MB) into this nanocomposite led to strong fluorescence quenching of MB within the silica network, as a result of the induced charge transfer. Another ultrasonic method was developed for the synthesis of copper/iron-modified@GO to be intercalated with the NSAID ketorolac via a particular binding or complexation mechanisms involving interaction with copper and iron compounds.

References:

1. Sanchez-Iglesias, A. Reversible Clustering of Gold Nanoparticles under Confinement / A. Sanchez-Iglesias, N. Claes, D. M. Soles, J. M. Taboada, S. Bals, L. M. Liz-Marzan, M. Grzelczak // *Angew. Chem. Int. Ed.* – 2018. – Vol. 57, № 12. – P. 3183–3186.
2. Sreejith, S. Graphene Oxide Wrapping on Squaraine-Loaded Mesoporous Silica Nanoparticles for Bioimaging / S. Sreejith, X. Ma, Y. Zhao, // *J. Am. Chem. Soc.* – 2012. – Vol. 134, № 42. – P. 17346–17349.
3. Torres, T. Graphene Chemistry / T. Torres // *Chem. Soc. Rev.* – 2017. – Vol. 46, № 15. – P. 4385–4386.
4. Suslick, K. S. Sonochemical Hot Spot / K. S. Suslick, D. A. Hammerton, R. E. Cline // *J. Am. Chem. Soc.* – 1986. – Vol. 108, № 18. – P. 5641-5642.
5. Strachan, C. J. A Theoretical and Spectroscopic Study of Gamma-Crystalline and Amorphous Indometacin / C. J. Strachan, T. Rades, K. C. Gordon // *J. Pharm. Pharm.* – 2007. – Vol. 59, № 2. – P. 261-269.
6. Huang, X. Graphene-based Composites / X. Huang, X. Qi, F. Boey, H. Zhang // *Chem. Soc. Rev.* – 2012. – Vol. 41, № 2 – P. 666-686.

ФОТОТОК В КСЕРОГЕЛЯХ ТИТАНАТА БАРИЯ

Крымский В.И.

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

Гапоненко Н.В. – д-р. физ.-мат. наук, профессор

Золь-гель методом синтезирована многослойная пленка титаната бария. Фаза титаната бария зарегистрирована методом рентгеновской дифракции. Толщина пленки, полученной методом центрифугирования, составляет 167 нм при нанесении 5 слоев ксерогеля титаната бария. Обсуждаются фотоэлектрофизические свойства диодной структуры на основе ксерогеля титаната бария. Обнаружены изменения ВАХ диодной структуры при освещении галогенной лампой с интенсивностью 57 мВт/см² с цветовой температурой вольфрамовой нити накаливания 3123 °С.

В течение последних двух десятилетий возрос интерес к формированию и изучению электрофизических свойств титаната бария. Разработка технологии формирования пленок титаната бария представляет интерес для формирования пленочных конденсаторов, мемристоров, варисторов, сенсоров и др. [1]. Показана генерация фототока при освещении титаната бария. Пленки титаната бария формируют методами химического осаждения из газовой фазы [2], молекулярно-лучевой эпитаксией, осаждением из жидкой фазы, импульсно-лазерным напылением [3], магнетронным напылением и золь-гель методом [4].

Для формирования ксерогеля титаната бария были синтезированы золи титаната бария. Исходными компонентами золь-гелей являлись ацетат гидрат бария Ba(CH₃COO)₂·1/2H₂O и тетраизопророксид титана Ti(OCH(CH₃)₂)₄. В качестве растворителей использованы уксусная кислота и монометилловый эфир этиленгликоля. В качестве стабилизатора добавлен ацетон. Концентрация золь-гелей 44 мг/мл. Золи наносили методом центрифугирования со скоростью 2700 об/мин на подложки монокристаллического кремния. После нанесения каждого слоя образцы подвергались термообработке при температуре 200 °С в течение 10 мин. Затем следовала окончательная термообработка при температуре 850 °С. Для изготовления диодной структуры формировались верхние электроды из никеля квадратной формы со стороной 0.8 мм.

Вольт-амперные характеристики структур регистрировались при комнатной температуре в интервале напряжений U=±10 В. Напряжение на структуре осуществлялось стабилизированным источником питания ТЕС-23. Величины напряжений и токов измерялись электронными цифровыми вольтметром В7-23 и амперметром В7-27А. Структура подключалась к измерительному блоку посредством прижимных нихромовых проводников. ВАХ регистрировались сначала темновые, а затем при освещении «белым» светом.

Световые характеристики структур были исследованы при освещении их «белым» светом с интенсивностью 57 мВт/см². В качестве источника освещения применялась галогенная лампа КГМ с цветовой температурой вольфрамовой нити накаливания 3123 °С. Температура нити накаливания была измерена при помощи оптического пирометра ЭОП-66 и регулировалась стабилизированным источником питания ТЕС-41. Интенсивность света контролировалась измерителем мощности и энергии излучения ИМО-2Н. Структуры освещались со стороны пленки BaTiO₃.