

ФУЛЛЕРЕНСОДЕРЖАЩИЕ МАТЕРИАЛЫ: СВОЙСТВА И ВОЗМОЖНЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ

Шпилевский Э.М.¹, Филатов С.А.¹, Шилагарди Г.², Тувшинтур П.², Богорош А.Т.³

¹*Институт тепло- и массообмена НАН Беларуси, Минск,*
eshpilevsky@rambler.ru

²*Национальный университет Монголии, Улан-Батор, Монголия,*
gshilagardi@yahoo.com

³*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»*
bogorsha@mail.ru

С открытием фуллеренов в конце прошлого века материаловеды получили принципиально новые инструменты для конструирования материалов и структур, позволившие управлять их свойствами. За короткое время появилось множество публикаций как по методам синтеза фуллеренов, так и их использованию в разработке новых материалов [1]. К настоящему времени наиболее острой проблемой стала проблема применения фуллереносодержащих материалов.

В данной работе рассмотрены некоторые способы формирования материалов, содержащих фуллерены C₆₀, их свойства и перспективные направления применения.

1. Электротехнический материал. Металл-фуллереновые пленки при некоторых долевых соотношениях атомов металла и молекул C₆₀ структурно представляют собой систему электропроводящих частиц металла, разделенных небольшими промежутками из диэлектрических наночастиц фуллерита. Электрически такие структуры эквивалентны серии подключенных конденсаторов и, следовательно, их полное сопротивление должно уменьшаться при увеличении частоты переменного тока. Увеличение доли фуллеритовых наночастиц в металл-фуллереновой структуре для переменного тока влечёт за собой изменение значения, как емкостной, так и резистивной составляющих электросопротивления. Это изменение приводит к сдвигу минимума сопротивления в область более низких частот.

Таким образом, металл-фуллереновые структуры на переменном токе проявляют свойства R-C-L – цепочек [2] и могут использоваться как материал электротехнического назначения.

2. Материал для подвижных электрических контактов. Разработка покрытий для подвижных электрических контактов осуществлялась с использованием вакуумной [3] и гальванической [4] технологий.

Для выявления подходящих композиционных материалов вакуумной технологией были приготовлены 40 вариантов композиционных материалов с различными долевыми составами компонентов систем Ag – C₆₀ Cu – C₆₀, Al – C₆₀, Fe – C₆₀, и их смесей. Оптимизация составов композиционных материалов проходила по двум критериям: а) композиционный материал должен иметь наиболее высокую электрическую проводимость, б) высокую проводимость сочетать с низким коэффициентом трения. Из рассмотренных вариантов лучшие электрические и трибологические характеристики показал состав 60%Al + 30%Cu + 9% Fe + 1% C₆₀, который имеет удельное электросопротивление $60 \cdot 10^{-4}$ Ом*м и коэффициент сухого трения равный 0,22 [4].

3. Покрытие для эндопротезов. Покрытия для эндопротезов получали совместной конденсацией в вакууме титана и фуллеренов C₆₀. Титан-фуллереновые покрытия показали высокую химическую стойкость в разбавленных кислотах и щелочах (3%-ые растворы HCl, NaOH, KOH). Выдержка образцов в кислотной и щелочной средах в течение 2400 ч не приводила к заметным изменениям на поверхности покрытий.

Высокая биохимическая стойкость [5] и сравнительно невысокое удельное электрическое сопротивление [6] позволяют использовать титан-фуллереновые пленки в качестве покрытий для электродов кардиостимулятора, а так же для медицинских инструментов.

4. Покрытие для узлов трения. Наиболее подходящим покрытием для узлов трения оказалась оксидокерамические покрытия, сформированные на алюминиевом сплаве АК5М2 методом микродугового оксидирования и последующей пропиткой в насыщенном растворе фуллеренов C_{60} в толуоле. Такие покрытия, содержащие фуллерены, показали значения износостойкости в три раза выше ($I_h = 2,5 \cdot 10^{-10}$) [2], чем для покрытий без фуллеренов, а значения коэффициента трения - на 30...40 % ниже. Апробация покрытия $Al_2O_3-C_{60}$ в конкретном изделии (пуансон пресс-формы пластмассовых изделий, Минский завод холодильников «Атлант») показала увеличение ресурса работы в 14 раз.

5. Тензорезистивные элементы. Используя тензоэлектрический эффект могут быть построены тензодатчики на металл-фуллереновых пленках. Металл-фуллереновые пленки имеют высокий коэффициент тензочувствительности (более 10, в то время как самый высокий для металлов - для платины он 1,6).

6. Фотонные датчики. Фуллерены обладают фотопроводимостью в диапазоне длин волн от 280 до 680 нм. Вероятность образования электрон-ионной пары при поглощении одного фотона составляет 0,9 [7]. На основе фуллереновых и металлических частиц можно создавать структуры двух типов: островковые (т.е. с изолированными включениями металла) и сетевые (т.е. с соединяющимися между собой включениями металла). Такие структуры с периодичностью, существенно меньшей длины волны электромагнитного излучения, ведут себя как фотонные кристаллы с запрещенной фотонной зоной.

7. Сорбционные датчики. Металл-фуллереновые пленки являются хорошими сорбентами. Наши исследования электрических свойств тонких пленок $Cu - C_{60}$ разного состава (изменялось соотношение числа атомов меди в расчете на одну молекулу фуллерена $N_{Cu}:N_{C60}$) показали высокую чувствительность их электрического сопротивления к сорбции кислорода [3].

Образование фаз в металл-фуллереновых структурах [2] позволяет технологическими методами добиваться для них желаемых характеристик и высокой избирательности адсорбции. По этим параметрам видно, что фуллеренсодержащие материалы являются перспективными для сенсорных фотоэлектрических устройств.

Полученные изменения электрического сопротивления на десятки процентов указывают на хорошую перспективу для использования подобных структур в качестве сорбционных датчиков.

8. Датчики силовых полей. Внешние электрическое и магнитное поля, взаимодействуя с электронами металл-фуллереновой пленки изменяют её электрические свойства [4]. Это позволяет использовать такие пленки в качестве датчиков не только для определения величин внешнего воздействия, но для фиксации положений, значений деформаций и др. Вкрапленные в металлическую матрицу фуллерены могут служить датчиками слабых электронных и электромагнитных потоков, деформаций, силовых полей, дополняя другие используемые материалы, расширяя диапазон возможных подходов и решений.

9. Стимуляторы роста растений. Ранее [8, 9] была создана методика выращивания нанокристаллов фуллеридов металлоидов методом спонтанной кристаллизации и обнаружено их свойство влиять на процессы жизнедеятельности. При инкрустации семян рапса и пустыряника сердечного наноструктурированным фуллеридом ферроцена в результате неспецифического эндоцитоза клетками семян наночастиц биоактивного материала к 6-му дню онтогенеза наблюдается увеличение всхожести до 16,5 %. Кроме того, на 10% увеличивается длина проростков рапса при одинаковой длине корня у инкрустированных в сравнении с контрольными образцами.

10. Оптические устройства. При исследовании спектров пропускания сверхтонких слоев фуллерита золота, меди, серебра, олова Au - C₆₀, Ag-C₆₀, C₆₀ – Cu и Sn - C₆₀, в видимом и ближнем ИК диапазонах установлено, что спектральное положение и интенсивность полосы резонансного плазмонного поглощения зависят от параметров наноструктур, условий их получения и длительности хранения на воздухе [10].

Тип металла, долевые соотношения металлического и фуллеренового компонентов, размер наночастиц определяют спектральное положение максимума резонансного плазмонного поглощения, ширину и интенсивность поглощения. Варьирование толщиной наноструктур может позволить и при одинаковых долевых соотношениях компонентов получать дополнительные возможности по управлению характеристиками полос резонансного плазмонного поглощения, что обеспечивает создание оптических устройств с разным диапазоном характеристик.

Уникальные свойства фуллеренов и материалов их содержащие указывают на широкие возможности использования этих материалов в приборостроении, биомедицине, оптоэлектронике, других областях хозяйственной деятельности.

Список литературы

1. Витязь П.А., Жданок С.А., Шпилевский Э.М. Вещества и материалы на основе углеродных наночастиц. //Фуллерены и фуллереноподобные структуры. Сб. науч. статей. Минск: Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, 2005. С. 3-14.
2. Vityaz P.A., Shpilevsky E.M. Fullerenes in matrices of different substances //Journal of Engineering Physics and Thermophysics 2012, Vol. 85, № 4, P. 780-787.
3. Шпилевский Э.М. Структура и физические свойства металл-фуллереновых тонких пленок. //Вакуумная наука и технология, 2014. Т.23, №1. С. 73-77.
4. Шпилевский Э.М., Горох Г.Г., Шпилевский М.Э. Функциональные покрытия, содержащие фуллерены. //Высокие технологии в промышленности России. Наноинженерия. Москва. МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2014. С. 82-90.
5. Зорин В.П., Кравченко И.Е., Шпилевский Э.М. Модификация фуллереном C₆₀ процессов адгезии иммунных клеток на поверхности материалов.//Низкоразмерные системы. Вып. 4. – Гродно:ГрГУ, 2005. -С. 50-54.
6. Shpilevsky E.M., Shpilevsky E.M., Prylutsky Y.I., Matzuy L.Y., Zakharenko M.I., F.Le Normand. Structure and properties of C₆₀ fullerene films With titanium atoms.// Mat.-wiss.u.Werkstofftech. 2011. Vol.42. №1. PP.59-63.
7. Dmitrenko O., Pavlenko O., Kulish M., Shpilevsky E. Component hybridization in thin granulated C60-Cu nanocomposite films. Ukr. J.Phys.2011. Vol. 56. P828-837.
8. Soldatov A.G., Shpilevsky E.M., Pushkarchuk A.L, Pushkina N., Goranov V.A., Potkin V.I. Bioactivity of nanocrystals of C₆₀(FeCp₂)₂, C₆₀(NiCp₂)₂ and their derivatives. [NANOMATERIALS: APPLICATIONS AND PROPERTIES](#). 2013. Vol. 2 No 1. P. 101-105.
9. Soldatov A. G., Shpilevsky E. M., Gorokh G. G. New Bioactive Composition Nanomaterials Based on Fullerene Derivatives // Proceedings of International Conference Nanomeeting – 2013 Physics, chemistry and application of nanostructures, Reviews and Short Notes, Minsk, Belarus, 24-27 May 2013. Ed V.E. Borisenko, S.V. Gaponenko, V.S. Gurin, C.H. Kam,– 2013 – P. 400-402.
10. Шпилевский Э.М., Замковц А.Д. Плазмонный резонанс в наноструктурах золото-фуллерен. Оптический журнал. 2008, №5. С. 18-21.