

УДК 539.216.2:621.317

НЕЛИНЕЙНЫЕ СВОЙСТВА ЧАСТОТНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ЕМКОСТИ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ГРАФИТОПОДОБНЫХ ПЛЕНОК УГЛЕРОДА

Д.А. Коваленко, М.С.Х. Аль-Махдави, И.А. Врублевский

*Учреждение образования «Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники», г. Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. В работе исследованы частотные зависимости емкости структур металл-полупроводник-металл на основе тонких полупроводниковых графитоподобных пленок углерода, осажденных в вакууме. Установлено, что тип частотной кривой емкости не зависит от полярности приложенного напряжения смещения. Обнаружено резкое увеличение емкости на низких частотах и ее уменьшение с последующим насыщением в высокочастотной области. Показано, что наблюдаемые нелинейные особенности могут быть объяснены поляризацией Максвелла-Вагнера, обусловленной наличием проводящих графитоподобных нанокластеров (sp^2 -гибридизация) в диэлектрической матрице (sp^3 -гибридизация). Полученные результаты важны для создания электромагнитных экранов на основе углеродных наноструктурированных материалов.

Ключевые слова: графитоподобные пленки углерода; емкостные свойства; частотная зависимость; поляризация Максвелла-Вагнера; sp^2/sp^3 -гибридизация; нанокластеры; диэлектрическая проницаемость; электрофизические свойства.

NONLINEAR CAPACITANCE-FREQUENCY CHARACTERISTICS OF STRUCTURES WITH SEMICONDUCTING GRAPHITE-LIKE CARBON FILMS

D. A. Kavalenka, M. S. H. Al-Mahdawi, I. A. Vrublevsky

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

Abstract. The paper investigates the frequency dependences of the capacitance of metal-insulator-metal structures based on thin semiconducting graphite-like carbon films deposited in vacuum. It was found that the type of capacitance frequency curve does not depend on the polarity of the applied bias voltage. A sharp increase in capacitance at low frequencies and its decrease followed by saturation in the high-frequency region were observed. It is shown that the observed nonlinear features can be explained by Maxwell-Wagner polarization due to the presence of conductive graphite-like nanoclusters (sp^2 -hybridization) in a dielectric diamond-like matrix (sp^3 -hybridization). The obtained results are important for understanding the electrophysical properties of carbon nanostructured materials.

Keywords: graphite-like carbon films; capacitive properties; frequency dependence; Maxwell-Wagner polarization; sp^2/sp^3 hybridization; nanoclusters; dielectric constant; thin films; electrophysical properties; carbon nanomaterials.

Введение

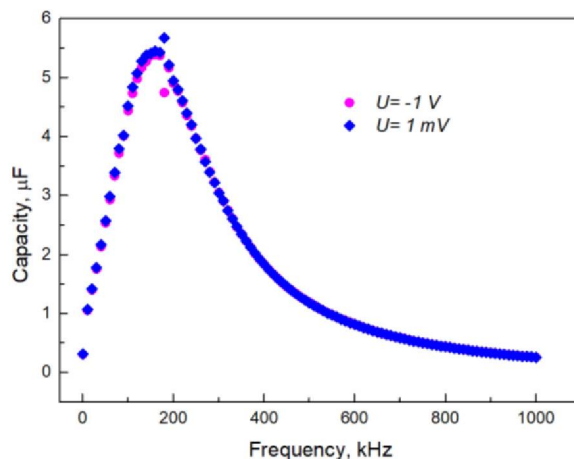
Углерод способен формировать материалы с широким спектром свойств: от диэлектрических (алмаз) до проводящих (графит), что

обусловлено различными типами гибридизации атомов (sp^2 и sp^3). Поэтому тонкие графитоподобные пленки, которые могут сочетать оба типа связей, представляют значительный интерес для электроники и создания электронных фильтров благодаря возможности управления их электрофизическими параметрами. Целью данной работы является исследование частотных зависимостей емкости и анализ механизмов поляризации в структурах на основе таких пленок.

Основная часть

Тонкие графитоподобные углеродные пленки толщиной ~ 50 нм были осаждены в вакууме на стеклянные подложки с нижним слоем никеля. Верхние металлические контакты (Ni) площадью 800×800 мкм формировались методом электронно-лучевого испарения через маску. Измерения емкости проводились с помощью анализатора TH512 и зондовой станции SEMISHARE M6 в широком диапазоне частот при различных полярностях напряжения смещения.

Экспериментально установлено, что частотные зависимости емкости носят нелинейный характер (рисунок). Независимо от полярности приложенного напряжения, на низких частотах наблюдается резкое увеличение емкости, тогда как в высокочастотной области происходит ее спад с последующим насыщением.



Частотная характеристика емкости структур с полупроводниковой графитоподобной пленкой углерода
Frequency dependence of capacitance of structures with semiconducting graphite-like carbon film

Подобное поведение характерно для гетерогенных систем и объясняется поляризацией Максвелла-Вагнера. Согласно этому механизму, на границах раздела фаз с различной проводимостью происходит накопление зарядов, что приводит к росту диэлектрической проницаемости на низких частотах. С увеличением частоты вклад данной

поляризации снижается, и диэлектрическая проницаемость стремится к стационарному значению.

В исследуемых графитоподобных пленках роль проводящих включений играют нанокластеры с sp^2 -гибридизацией (графитоподобная фаза), окруженные диэлектрической матрицей с преобладанием sp^3 -связей. Наличие таких наноструктурных неоднородностей подтверждено данными просвечивающей электронной микроскопии.

Заключение

В работе показано, что структуры металл-полупроводник-металл на основе полупроводниковых графитоподобных углеродных пленок обладают ярко выраженной нелинейностью частотной зависимости емкости. Установлено, что доминирующим механизмом, ответственным за высокие значения емкости в низкочастотной области, является поляризация Максвелла-Вагнера. Данный эффект обусловлен наличием проводящих sp^2 -кластеров в диэлектрической sp^3 -матрице. Полученные результаты важны для понимания электрофизических свойств углеродных наноматериалов и их применения для создания электромагнитных экранов.

Список использованных источников

1. Долженко Д. И., Бородзюля В. Ф., Захарова И. Б., Сударь Н. Т. (2021) Влияние тока, ограниченного объемным зарядом, на диэлектрические свойства поликристаллических пленок фуллерита C₆₀. Журнал технической физики. 91 (1), 58–63.
2. Wang Y. J., Li H. X., Ji L., Liu X. H., Wu Y. X., Zhou H. D., et al. (2012) Superior tribological properties of an amorphous carbon film with a graphite-like structure. Chinese Physics B. 21 (1), 016101.

References

1. Dolzhenko D. I., Borodzyulya V. F., Zakharova I. B., Sudar N. T. (2021) [Influence of space-charge-limited current on the dielectric properties of polycrystalline C₆₀ fullerene films]. Zhurnal Tekhnicheskoi Fiziki [Technical Physics Journal]. 91 (1), 58–63. (In Russian).
2. Wang Y. J., Li H. X., Ji L., Liu X. H., Wu Y. X., Zhou H. D., et al. (2012) Superior tribological properties of an amorphous carbon film with a graphite-like structure. Chinese Physics B. 21 (1), 016101.

Сведения об авторах

Коваленко Д.А., инженер-химик НИЛ «Многофункциональные металлооксидные композитные материалы», УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», kavalenka.d.a@gmail.com.

Аль-Махдави М.С.Х., аспирант каф. Защиты информации, УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Врублевский И.А., канд. техн. наук, доц., зав. лаб. НИЛ «Многофункциональные металлооксидные композитные материалы», УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», vrublevsky@bsuir.edu.by.

Information about the authors

Kavalenka D. A., Chemical Engineer, Research Laboratory "Multifunctional Metal-Oxide Composite Materials", Educational Institution "Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics", kavalenka.d.a@gmail.com.

Al-Mahdawi M. S. H., Postgraduate Student, Information Protection Department, Educational Institution "Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics".

Vrublesky I.A., Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Head of the Research Laboratory "Multifunctional Metal-Oxide Composite Materials", Educational Institution "Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics", vrublevsky@bsuir.edu.by.