

INFLUENCE OF HEAT TREATMENT ON OPTICAL AND PARAMAGNETIC
CHARACTERISTICS OF CARBON FILMS¹Yu.A. Ryabikin, ¹A.K. Shongalova, ¹V.V. Klimenov, ¹V.B. Glazman,
²B.A. Baitimbetova, ¹A.U. Kamytbaeva, ¹A.T. Isova, ¹S.Zh. Tokmoldin¹LLP "Institute of Physics and Technology", Almaty, Kazakhstan²Kazakh national research technical university named after K.I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan
e-mail: info@sci.kz, bag06@mail.ru

Keywords: diamond-like carbon films, PECVD method, annealing, transmission spectrum, EPR spectroscopy, paramagnetic centers.

Abstract. The results of research of annealing influence are given at a temperature of 100-500 °C on optical characteristics and paramagnetic characteristics of the carbon coatings produced by plasma chemical vapor deposition from carbon-containing gases. The transmittance was measured with a spectrophotometer SF-256 BIC equipped with attachment diffuse reflectance. Ranges of an electronic paramagnetic resonance registered on a spectrometer of EPR of JOEL firm, at the room temperature. The spectrometer operates in three centimeter wavelength range. The modulation of the magnetic field was 100 kHz. Carbon films were prepared by glow discharge plasma on glass substrates. Films were annealed in vacuum and in an atmosphere of hydrogen gas, nitrogen, argon. Annealing of the films in an atmosphere of hydrogen and nitrogen led to decrease in a transmission of coatings in short-wave area. It can be caused by restructuring of amorphous structure of a film with formation of graphene inclusions. The bandgap width of the structure is in the green region of the spectrum. Annealing of the films reduces the transmittance in the short-wave region of the spectrum. Note that this does not change the transmission in the long wave portion. An important property of the carbon film (diamond-like coating) is their transparency in a wide range of the optical spectrum. This also applies to the infrared range (IR). Thus, it was found that the transparency of the films in the IR range is large enough, which allows their use as antireflective coating and protective devices in the IR spectroscopy.

УДК 533.9:621.373.826

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ОПТИЧЕСКИЕ И ПАРАМАГНИТНЫЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ УГЛЕРОДНЫХ ПЛЕНОК¹Ю.А. Рябкин, ¹А.К. Шонгалова, ¹В.В. Клименов, ¹В.Б. Глазман,
²Б.А. Байтимбетова, ¹А.У. Камытбаева, ¹А.Т. Исова, ¹С.Ж. Токмолдин¹ТОО «Физико-технический институт», Алматы 050032, Казахстан²КАЗНИТУ им. К.И.Сатпаева
e-mail: info@sci.kz, bag06@mail.ru

Ключевые слова: алмазоподобные углеродные пленки, PECVD метод, отжиг, спектр пропускания, ЭПР спектроскопия, парамагнитные центры.

Аннотация. Приведены результаты исследования влияния отжига при температуре 100-500 °C на оптические и парамагнитные характеристики углеродных покрытий, полученных методом плазмохимического осаждения из углеродсодержащих газов. Коэффициент пропускания измеряли на спектрофотометре SF-256 БИК, оснащённом приставкой диффузного отражения. Спектры электронного парамагнитного резонанса регистрировали на спектрометре ЭПР фирмы JOEL при комнатной температуре. Спектрометр работает в трех сантиметровом диапазоне длин волн. Модуляция магнитного поля составляла 100 кГц. Углеродные пленки получали при помощи плазмы тлеющего разряда на стеклянных подложках. Пленки отжигались в вакууме и в атмосфере газов водород, азот, аргон. Отжиг пленок в атмосфере водорода и азота приводил к снижению пропускания покрытий в коротковолновой области. Это может быть

обусловлено реструктуризацией аморфной структуры пленки с образованием графеновых включений. Ширина запрещенной зоны этой структуры находится в зеленой области спектра. Показано, что отжиг пленок приводит к снижению коэффициента пропускания в коротковолновой области спектров. Отметим, что при этом не происходит изменения пропускания в длинноволновой части. Важным свойством углеродных пленок (алмазоподобных покрытий) является их прозрачность в широком диапазоне оптического спектра. Это касается и ИК диапазона. Установлено, что прозрачность пленок в ИК диапазоне достаточно большая, что позволяет их использовать в качестве просветляющих и защитных покрытий приборов в ИК спектроскопии.

Введение. Способность углерода образовывать различные аллотропические модификации, такие как графен, графит, фуллерены, нанотрубки, алмаз вызывает непроходящий интерес исследователей во всем мире [1]. Аморфные углеродные пленки (Diamond Like Carbon films) по некоторым свойствам не уступают алмазу. На свойства DLC пленок могут влиять различные факторы: метод получения, структура пленок, последующий отжиг, модификация различными элементами. Одним из свойств алмазоподобных покрытий является их прозрачность в широком диапазоне оптического спектра, в том числе в ИК-диапазоне, что делает перспективным их использование для защиты деталей инфракрасной оптики, а также позволяет изменять их оптические характеристики в нужном направлении, в том числе и для просветления кремния и германия [2].

Известно, что последующая термическая обработка пленок влияет на ряд их свойств, существенные изменения, которых происходят в интервале температур 500°-600°С [3-5]. К отжигу особо чувствительны оптические свойства углеродных покрытий [6-8]. Коэффициенты пропускания и поглощения углеродных покрытий, помимо отжига, можно изменять с помощью модификации их различными элементами [9-14]. Представляет интерес исследование влияния отжига в различной атмосфере при температуре 500°С на оптические и парамагнитные характеристики алмазоподобных углеродных покрытий, полученных разложением смеси CH_4 и H_2 в плазме.

Материалы, оборудование и методика эксперимента. Алмазоподобные углеродные покрытия получали методом плазмохимического осаждения на установке AX 5200S-ECR фирмы Seki Technotron Corp, оснащенной микроволновым излучателем для возбуждения плазмы. Покрытия осаждались на подложки из стекла толщиной 150 мкм. Подложки вырезали скрайбером в виде прямоугольников, размером 3 x 5 мм² и затем их обрабатывали в 20% растворе кальцинированной соды с кипячением в течение 15 минут и последующей промывкой в дистиллированной воде. Время осаждения углерода на подложку составляло 2 часа в плазме смеси CH_4+Ar при давлении $3,8 \times 10^{-2}$ торр. Подводимая микроволновая мощность в камеру составляла 505 Вт, а отраженная -84 Вт. H_2 подводился в камеру сверху, а CH_4 - снизу, натекание H_2 и CH_4 было одинаковым и равно 20 см³/мин. Температура подложки в начале эксперимента устанавливалась 32°С, а в конце она доходила до 91°С. Ток верхнего магнита был 180 А, нижнего – 120 А. В результате осаждения углерода на подложке образовывалась углеродная пленка толщиной ~ 1 мкм. Более подробно методика нанесения пленок аморфного углерода описана в [15].

Отжиг системы «покрытие-подложка» проводили на этой же установке в вакууме и в атмосфере газов – Ar, N_2 , H_2 при температуре 100°÷500°С, время отжига при заданной температуре 60 мин. Образцы вынимали после остывания камеры установки. Давление в камере при отжиге было 20 торр, остаточное давление ~ 3×10^{-6} торр. Коэффициент пропускания измеряли на спектрофотометре СФ-256 БИК, Россия, оснащенный приставкой диффузного отражения. Данные измерений спектров приведены в волновых числах (см⁻¹) (рис.1). Спектры электронного парамагнитного резонанса регистрировали при комнатной температуре на спектрометре ЭПР фирмы JEOL, работающем в 3^x см диапазоне длин волн. Модуляция магнитного поля была 100 кГц.

Результаты и их обсуждение. На рисунке 1 представлены типичные спектры пропускания углеродных покрытий исходного и отожженных в различных атмосферах газов при температуре 500°С в течение часа.

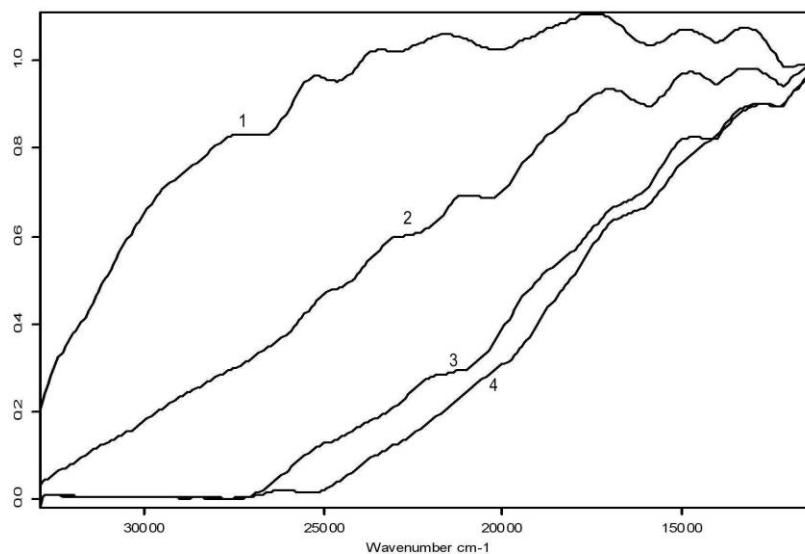


Рисунок 1 – Спектры пропускания пленок аморфного углерода после отжига при 500°C в различных средах. 1- исходная пленка, 2 –отжиг в вакууме, 3 –отжиг в среде водорода, 4 –отжиг в среде азота

Из зависимости коэффициента пропускания от длины волны видно (рис.1), что у отожженных образцов пропускание света в УФ диапазоне меньше, чем в видимом диапазоне света. В диапазоне 600 нм коэффициент пропускания становится меньше исходного в среднем на ~15 %. При этом покрытие становится прозрачным в ИК диапазоне для всех образцов. Отжики пленок в атмосфере азота и водорода привели к снижению пропускания покрытий в коротковолновой области. Похожие изменения коэффициента пропускания отмечаются и в ранее проведенном исследовании [8]. Снижение коэффициента пропускания в коротковолновой области может быть обусловлено реструктуризацией аморфной структуры пленки с образованием графеновых включений, ширина запрещенной зоны которых колеблется в зеленой области спектра. В некоторых случаях это может быть связано с образованием нанокластеров, модифицированных такими элементами как серебро, вольфрам [6].

На рисунке 2 представлена температурная зависимость энергии запрещенной зоны в образцах пленок аморфного углерода при отжиге в различных атмосферах, из которого видно, что с ростом температуры отжига уменьшается величина энергии запрещенной зоны. Подход, развитый Робертсоном описания оптических свойств неупорядоченного углерода [16], позволяет определить среднее число ароматических циклов в углеродных кластерах, предположив, что величина запрещенной зоны связана с числом конденсированных бензольных колец.

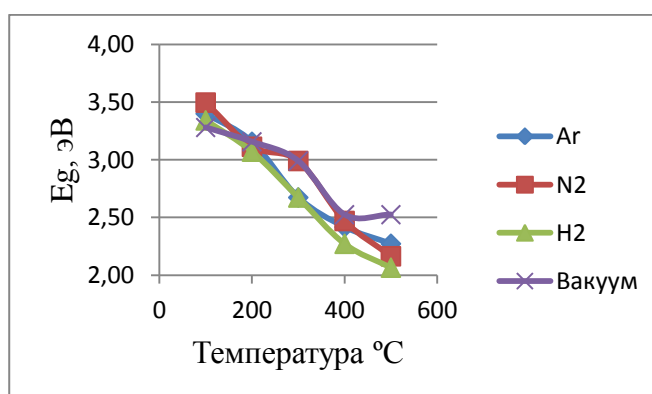


Рисунок 2 – Температурная зависимость энергии запрещенной зоны в образцах пленок аморфного углерода при отжиге в различных атмосферах

ЭПР сигналы изученных образцов регистрировали при комнатной температуре. На рисунке 3 приведена температурная зависимость концентрации парамагнитных центров (ПЦ) в углеродных

пленках при отжиге в различных атмосферах. Концентрация ПЦ при отжиге пленок в атмосфере газов с температурой растет, достигая максимума для всех образцов при температуре отжига 400°C, а затем резко спадает при температуре отжига 500°C. Максимальные концентрации ПЦ в образцах при отжиге в атмосфере Ar и N₂ практически одинаковы, и несколько выше при отжиге в вакууме, тогда как при отжиге образца в атмосфере H₂ она почти в полтора раза больше, чем в предыдущих двух образцах. Но при температуре отжига 500°C интенсивность «водородного» сигнала в 2,2 раза меньше сигнала от образца, отожженного в Ar, в 2 раза в вакууме и в 3 раза меньше отожженного в азоте. Как видно из рисунка 4 ширина линии ЭПР с увеличением температуры отжига уменьшается. Уменьшается при этом и величина g-фактора (рис.5) от величины характерной для свободно-радикальных состояний до величины присущей g-фактору свободного электрона. Значения g-фактора у всех образцов после отжига при температуре 500°C лежат в области 2,0021-2,0024.

Такие показатели могут указывать на образование дефектов в структуре углеродных пленок, которые могут быть обусловлены разорванными связями C—C или C=C [17, 18].

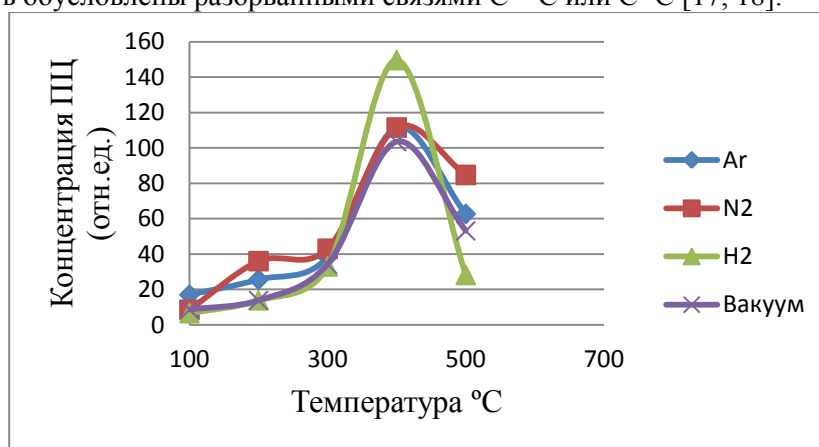


Рисунок 3 – Температурная зависимость концентрации парамагнитных центров в образцах пленок аморфного углерода при отжиге в различных атмосферах

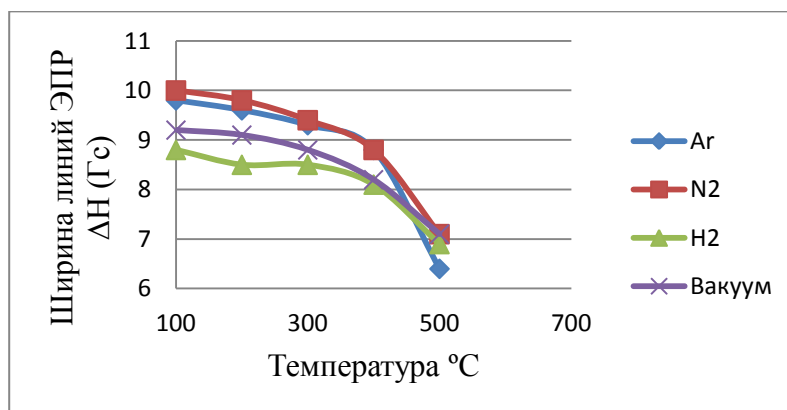


Рисунок 4 – Температурная зависимость ширины линии ЭПР в образцах пленок аморфного углерода при отжиге в различных атмосферах

Данные состояния находятся внутри запрещенной зоны E_g и способствуют безызлучательной рекомбинации электронов и дырок на дефектах. С ростом температуры растет концентрация кластеров sp^2 , что уменьшает величину запрещенной зоны E_g и увеличивает вероятность упомянутой безызлучательной рекомбинации [19]. Наблюдается корреляция между изменением ширины линии ЭПР и ее g-фактора с энергией запрещенной зоны углеродной пленки в зависимости от температуры ее отжига.

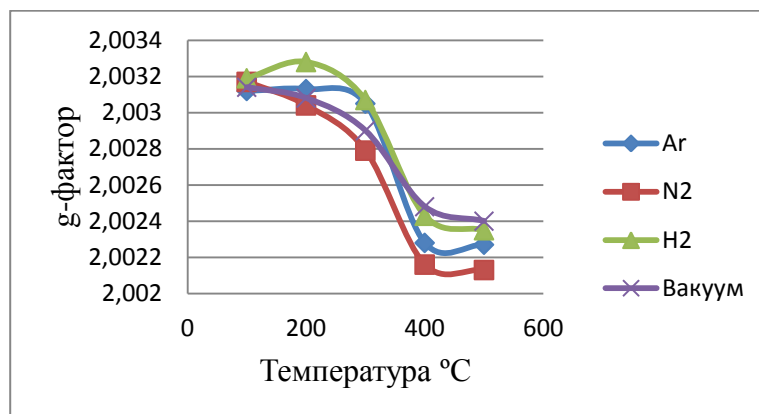


Рисунок 5 – Температурная зависимость g-фактора в образцах пленок аморфного углерода при отжиге в различных атмосферах

Заключение. На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1) в результате отжига в различной атмосфере были получены в основном алмазоподобные пленки, с увеличением температуры отжига растет примесное поглощение и изменяется состав пленок преимущественно на графитизированный;

2) концентрация ПЦ при отжиге пленок в атмосфере различных газов с температурой растет, достигая максимума для всех образцов при температуре отжига 400°C, а затем резко падает при T отжига 500°C;

3) наблюдается корреляция параметров спектров ЭПР с энергией запрещенной зоны исследованных пленок;

4) отжиг в различных атмосферах приводит к уменьшению запрещенной зоны исследованных пленок;

Также установлено, что прозрачность пленок в ИК диапазоне достаточно велика, что позволяет их использовать в качестве просветляющих и защитных покрытий приборов в ИК спектроскопии.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Robertson J. Diamond-like amorphous carbon // *Materials Science and Engineering R.* – 2002. – V. 37. – P.129-281.
- [2] Grill A. Electrical and optical properties of diamond-like carbon // *Thin Solid Films.* - 1999 – V.356. – P. 189 – 193.
- [3] Monteiro O.R., Ager J.W. III, Lee D., Yu Lo H.R., Walter K.C., Nastasi M. Annealing of nonhydrogenated amorphous carbon films prepared by filtered cathodic arc deposition // *J. Appl. Phys.* – 2000. – V.88,N.5. –P.2395-2399.
- [4] Поплавский А.И., Колпаков А.Я., Ковалева М.Г. Влияние отжига в вакууме на электропроводность и триботехнические характеристики наноразмерных углеродных азотсодержащих покрытий // *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Математика. Физика.* – 2013. – Т. 33, № 26. – С. 178-180.
- [5] Колпаков А.Я., Поплавский А.И., Галкина М.Е., Токарев Д.А., Беляева А.О., Герус Ж.В. Влияние отжига в вакууме на внутренние напряжения в углеродных покрытиях, сформированных при различной ориентации подложки относительно оси потока импульсной углеродной плазмы // *Нано- и микросистемная техника.* – 2013. – № 10. – С. 25-28.
- [6] Файзрахманов И.А., Базаров В.В., Курбатов Н.В., Хайбуллин И.Б., Степанов А.Л. Синтез новых углерод-азотных нанокластеров при термическом отжиге в атмосфере азота алмазоподобных пленок углерода // *Физика и техника полупроводников.* – 2003. –Т. 37, № 2. – С. 231-234.
- [7] Дымонт В.П., Самцов М.П., Некрашевич Е.М. Влияние термического отжига на спектральные свойства электролитически осажденных углеродных пленок // *Журнал технической физики.* – 2000. – Т. 70. – №7. – С.92-95.
- [8] Колпаков А.Я., Поплавский А.И., Шонгалова А.К., Чепенко А.И. Влияние отжига в вакууме на оптические характеристики наноразмерных углеродных покрытий в ИК-диапазоне // *Вестник КазНУ, серия физическая.* – 2014. – №2 (49). – С. 78-84.
- [9] Wei Q., Sankar, J., Sharma, A. K., Oktyabrsky, S., Narayan, J., & Narayan, R. J.etal. Atomicstructure, Electrical properties, and IR range optical properties of DLC films containing foreign atom prepared by PLD // *J. Mater. Res.* – 2000. – V. 15, No. 3 – P. 250-257.
- [10] Cheng Y.H., Tay B.K., Lau S.P., X. Shi. Influence of substrate bias on the structure and mechanical properties of ta-C:W films deposited by filtered cathodic vacuum arc // *Surface and Coatings Technology.*– 2001. - V.146 –147. –P. 398–404.
- [11] Ключ Н.И., Липтуга А.И., Лукьянов А.Н и др. Применение алмазоподобных углеродных пленок для просветления кристаллов полуизолирующего GaAs в ИК-области спектра // *Письма в ЖТФ.* – 2012. – Т. 38, вып. 13 – С. 27-34.

- [12] Стрельницкий В.Е., Аксенов И.И., Васильев В.В., Воеводин А.А., Джонс Дж. Г., Забински Дж. С. Исследование пленок алмазоподобного углерода и соединений углерода с азотом, синтезированных вакуумно-дуговым методом // ФИП PSE. – 2005. – Т. 3, № 1. – С. 43-53.
- [13] Nuzzo R.G., Jackson S.T. Determining hybridization differences for amorphous carbon from the XPS C 1s envelope // Appl. Surf. Sci. – 1995. – V. 90. – P. 195-203.
- [14] Patsalas P., Handrea M., Logothetidis S., Gioti M., Kennou S., Kautek W. Complementary study of bonding and electronic structure of amorphous carbon films by electron spectroscopy and optical techniques // Diam. Relat. Mater. – 2001. – V. 10. – P. 960-964.
- [15] Клименов В.В., Исова А.Т., Невмержицкий И.С., Токмолдин С.Ж. Образование поверхностных углеродных структур на монокристаллическом кремнии методом PECVD // Вестник КазНАЕН. – 2011. – Вып.1. – С.96-100.
- [16] Robertson J. Adv. Phys. – 1986. – V. 35. – P. 317.
- [17] Свечников Н.Ю., Станкевич В.Г., Лебедев А.М., Меньшиков К.А., Колбасов Б.Н. и др. Исследования температурных и спектроскопических характеристик однородных углеродно-дейтериевых эрозийных пленок из токамака Т-10 // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Термоядерный синтез – 2004. – Вып. 3. – С. 3–24.
- [18] Рябикин Ю.А., Мансурова Р.М., Зашквара О.В. ЭПР – спектроскопическое исследование углеродосодержащих композиций // Вестник Каз НУ, сер.хим. – 2001. – №3(20). – С.164-182.
- [19] Толстых П.В., Азарко И.И., Пузырев М.В., Оджаев В.Б. Влияние условий осаждения на парамагнитные и оптические характеристики углеродных пленок // Вестник БГУ.– 2005. – Сер. 1. – № 2. – С.15-18.

REFERENCES

- [1] Robertson J. Diamond-like amorphous carbon // Materials Science and Engineering R. – 2002. – V. 37. – P.129-281.
- [2] Grill A. Electrical and optical properties of diamond-like carbon // Thin Solid Films. - 1999 – V.356. – P. 189 – 193.
- [3] Monteiro O.R., Ager J.W. III, Lee D., Yu Lo H.R., Walter K.C., Nastasi M. Annealing of nonhydrogenated amorphous carbon films prepared by filtered cathodic arc deposition // J. Appl. Physics. – 2000. – V.88,N.5. –P.2395-2399.
- [4] Poplavski A.I., Kolpakov A.Ya., Kovalev M.G. Effect of vacuum annealing on the electrical conductivity and tribological characteristics of nanoscale carbon nitrogen-containing coating // Scientific statements Belgorod State University. Series: Mathematics. Physics. - 2013. - V. 33, № 26. - p. 178-180. (in Russ.).
- [5] Kolpakov A.Ya., Poplavski A.I., Galkina M.E., Tokarev D.A., Belyaeva A.O., Gerus Zh.V. Influence of annealing in vacuum on the internal stresses in the carbon coating formed at different orientations of the substrate relative to the flow axis pulsed carbon plasma // Nano and Microsystem Technology. - 2013. - № 10. - p. 25-28. (in Russ.).
- [6] Faizrakhmanov I.A., Bazarov V.V., Kurbatov N.V., Khaibullin I.B., Stepanov A.L. The synthesis of new carbon-nitrogen nanoclusters during thermal annealing in a nitrogen atmosphere, diamond-like carbon films // Physics and Semiconductors. - 2003 V. 37, № 2. - p. 231-234. (in Russ.).
- [7] Dymont V.P., Samtsov M.P., Nekrashevich E.M. Effect of Thermal Annealing on the spectral properties of electrolytically deposited carbon films // Technical Physics. - 2000. - V. 70. - №7. - p.92-95. (in Russ.).
- [8] Kolpakov A.Ya., Poplavski A.I., Shongalova A.K., Chepenko A.I. Effect of vacuum annealing on the optical characteristics nanorazmenykh carbon coatings in the infrared range // Bulletin of KazNU, physical series. - 2014. - №2 (49). - p. 78-84. (in Russ.).
- [9] Wei Q., Sankar, J., Sharma, A. K., Oktyabrsky, S., Narayan, J., & Narayan, R. J.etal. Atomicstructure, Electrical properties, and IR range optical properties of DLC films containing foreign atom prepared by PLD // J. Mater. Res. – 2000. – V. 15, No. 3 – P. 250-257.
- [10] Cheng Y.H., Tay B.K., Lau S.P., X. Shi. Influence of substrate bias on the structure and mechanical properties of Ta-C:W films deposited by filtered cathodic vacuum arc // Surface and Coatings Technology.– 2001. - V.146 –147. –P. 398–404.
- [11] Klui N.I., Liptuga A.I., Lukyanov A.N., et al. The use of diamond-like carbon films for the enlightenment of semi-insulating GaAs crystals in the infrared spectrum // Letters to JTF. - 2012. - V. 38, no. 13 - p. 27-34. (in Russ.).
- [12] Strel'nitsky V.E., Aksenov I.I., Vasiliev V.V., Voevodin A.A., Jones J., Zabinski J. Research and diamond-like carbon films Be compounds of carbon and nitrogen, vacuum-synthesized arc method // FIP PSE. - 2005. -V. 3, № 1. -p. 43-53. (in Russ.).
- [13] Nuzzo R.G., Jackson S.T. Determining hybridization differences for amorphous carbon from the XPS C 1s envelope // Appl. Surf. Sci. – 1995. – V. 90. – P. 195-203.
- [14] Patsalas P., Handrea M., Logothetidis S., Gioti M., Kennou S., Kautek W. Complementary study of bonding and electronic structure of amorphous carbon films by electron spectroscopy and optical techniques // Diam. Relat. Mater. – 2001. – V. 10. – P. 960-964.
- [15] Klimenov V.V., Usova A.T., Nevmerzhitkiy I.S., Tokmoldin S.Zh. Education surface carbon structures on a single-crystal silicon by PECVD // Herald KazNAU. - 2011. - Issue 1. - p.96-100. (in Russ.).
- [16] Robertson J., Adv. Phys. – 1986. – V. 35. – P. 317.
- [17] Svechnikov N.Yu., Stankevich V.G., Lebedev A.M., Menshikov K.A., Kolbasov B.N., et al. Study of the temperature and spectroscopic characteristics of homogeneous carbon-deuterium erosion films from the tokamak T-10 // Problems of Atomic Science and Technology. Ser. Fusion - 2004 - Vol. 3. - P. 3-24. (in Russ.).
- [18] Ryabikin Yu.A., Mansurova R.M., Zashkvara O.V. EPR - spectroscopic study of carbon-containing compositions // Bulletin of KazNU, ser.chem. - 2001. - №3 (20). - p.164-182. (in Russ.).
- [19] Tolstykh P.V., Azarko I.I., Puzyrev M.V., Odzhaev V.B. Influence of deposition conditions on the paramagnetic and optical properties of carbon films // Herald BGU.- 2005 - Ser. 1. - № 2. - p.15-18. (in Russ.).

Түйінді сөздер: алмазтекес көміртекті қабыршықтар, PECVD әдісі, босандату, өткізу спектрі, ЭПР спектроскопия, парамагниттік центрлер.

**ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ОПТИЧЕСКИЕ И ПАРАМАГНИТНЫЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ УГЛЕРОДНЫХ ПЛЕНОК**

¹Ю.А. РЯБИКИН, ¹А.К. ШОНГАЛОВА, ¹В.В. КЛИМЕНОВ, ¹В.Б. ГЛАЗМАН, ²Б.А. БАЙТИМБЕТОВА, ¹А.У.
КАМЫТБАЕВА, ¹А.Т. ИСОВА, ¹С.Ж. ТОКМОЛДИН

¹ТОО «Физико-технический институт», Алматы 050032, Казахстан

²Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті

e-mail: info@sci.kz, bag06@mail.ru

Information about authors

Ryabikin Yurii Alekseevich - candidate of physics and mathematical sciences, a leading researcher at the laboratory of thin-film materials and nanostructures, LLP "Institute of Physics and Technology".

Ibragimov 14/3, Almaty 0500035

Telephone: 8727 386 6229

e-mail : yuar-39@mail.ru

Shongalova Aigul - master in technology, engineer at the laboratory EPR by Y.V. Gorelkinskii, LLP "Institute of Physics and Technology".

Rozybakieva 291/17, Almaty 050060

Telephone: +7 707 414 9935

e-mail: sh.a.k90@mail.ru

Vasily Vasilyevich. Klimenov - specialist in physics, researcher at the laboratory of thin-film materials and nanostructures, LLP "Institute of Physics and Technology".

dist. Enbekshi Kazah, Turgen village, st. Dostyk 12, Almaty

Telephone: 87273865381

e-mail: klimenov@sci.kz

Glazman Vladimir Borisovich - theoretical physicist, senior researcher at the laboratory of thin-film materials and nanostructures, LLP "Institute of Physics and Technology".

Buzurbayev 19/8. Almaty

e-mail: glazmanv@gmail.com

Baitimbetova Bagila Abdisamatovna , Kazakh national research technical university bag06@mail.ru

Kamytbayieva Aigerim Unerhankyzy - master in technology, engineer at the laboratory of thin-film materials and nanostructures, LLP "Institute of Physics and Technology".

Nusupbekov 106/20. Almaty

Telephone: +7 747 839 2230

e-mail: aiko_jewel@mail.ru

Issova Ainur Tanirbergenkyzy- candidate of physics and mathematical sciences, leading researcher at LLP "Institute of Physics and Technology".

Duman-2, 16/13. Almaty

Telephone: 87273865381

e-mail: a_isova@mail.ru

Tokmoldin Serekbol Zharylgapovich - Dr. Sci. in Physics and Mathematics, academician of NANS RK, director of LLP "Institute of Physics and Technology".

Zhandosov 184/13. Almaty

Telephone:87273865377

e-mail: Stokmoldin@mail.ru

Поступила 22.09.2015 г.