

М. Сламия, Е. Сәйдібек, О.А. Ертаев, Ә.Қамбаров, М.Қ. Досболаев
АТҰНЗ, ал-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы қ. Қазақстан
s.mauletbek@gmail.com

КОМПЛЕКСТІ ПЛАЗМАДА МАГНЕТРОНДЫҚ ТОЗАҢДАНДЫРУ КӨМЕГІМЕН НАНОҚҰРЫЛЫМДЫ КОМПОЗИТТІ БӨЛШЕКТЕР МЕН ҚАБЫҚШАЛАР АЛУ

Аннотация: Қарастырылып отырған жұмыста тұрақты тоқтағы магнетрондық тозаңдандыру әдісі көмегімен газдық разрядтың комплексті плазмасында (тозаңды плазма) наноқұрылымды қабатты композитті тозаңды бөлшектер, нанобөлшектер және нано қабықшалы бетер алудың түрлі режимдері зерттеліп, эксперименттердің тиімді параметрлері анықталды. Комплексті плазма алу үшін жоғары жиілікті сиймдылықты газдық разряд қолданылды. Комплексті плазма – ашық жүйе [1,2]. Плазмадағы тозаңды құрылым (кристалл) шынының полидисперсті сфералық макробөлшектерін арнайы механизм көмегімен сырттан енгізу арқылы пайда болды. Макробөлшектер бетіндегі наноқұрылымды алюминий қабат магнетрондық тозаңдандыру көмегімен алынды. Көміртегі нанобөлшектер газдық разряд көлемінде плазма химиялық процестердің жүруінен пайда болады, ол үшін аргон және метан (10 %) газдарының қоспасы қолданылды. Көміртегі нанобөлшектерінің пайда болу (өсу) процесі бірнеше этаптардан тұрады, оның бірі өлшемдері 2-3 нм болатын көміртегі нанокластерлерінің монокристалының түзілуі. Бұл процестің жүруінің уақыт диапазоны эксперименттік жолмен анықталды. Осы процесс жүру кезінде көміртегі нанокластерлеріне магнетрондық тозаңдандыру көмегімен мыс макробөлшектерінің ағыны бағытталады. Нәтижесінде мыс және көміртегіден тұратын композитті нанобөлшектер алынды. Осылайша, бірнеше рет қайталанып жасалған эксперименттер нәтижесінде композитті тозаңды бөлшектердің, нанобөлшектердің және наноқұрылымды қабықшалы беттердің лабораториялық үлгілері алынды және олардың химиялық құрамы, геометриялық өлшемдері электрондық микроскоп көмегімен анықталды.

Түйін сөздер: жоғары жиілікті сиймдылықты газдық разряд, комплексті плазма, плазмалы-тозаңды құрылым, магнетрондық тозаңдандыру.

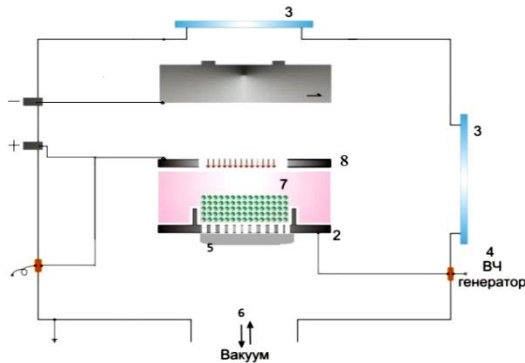
Кіріспе

Қазіргі кезде композитті наноқұрылымды бөлшектер мен үлдірлер жасау және оны қолдану адамзат өмірінің технологиялық прогресіндегі жаңа этап. Композитті наноқұрылымды бөлшектер мен үлдірлер әртүрлі материалдармен қапталып немесе араластырып жасалуы мүмкін. Бұл кезде бөлшектің немесе үлдірдің ерекше қасиеттері пайда болады, олар катализаторлар, абразивті беттер, коррозияға беріктілік, электромагниттік өрісті экрандаушы және т.б. [3-9]. Қабықшалардың құрылымдық ерекшеліктері, үлестік өткізгіштігі, бетінің сапалылығы, заттың қасиетін сақтауы – мұның барлығы зерттеп отырған үлгінің сапасы мен қолданыс аясы үшін маңызды болып саналады. Дисперсті нанокомпозитті бөлшектер мен беттерді

дайындаудың технологиялық әдістердің бірі, комплексті плазмалық әдіс. Бұл жерде плазмалы-тозаңдық құрылымдағы макробөлшектер магнетрон көмегімен тозаңдатылады, нәтижесінде метал атомдарымен қапталған нано және микроөлшемді дисперсті композитті бөлшектер алынады. Макробөлшектер плазмалық көлемге сырттан енгізіледі, ал нанобөлшектер плазма химиялық реакция нәтижесінде пайда болады. Қарастырылып отырған әдістің ерекшелігі пайда болған нано және макробөлшектер зерттеліп отырған ортамен тікелей байланысқа түспейді, алынған материал таза әрі біртекті болады. Ал қабықшаларды алудағы ең тиімді әдіс тұрақты токтың магнетрондық разрядындағы реактивті тозаңдату. Бұл әдістің артықшылығы тозаңдау диапазонының кеңдігінде.

Эксперименттік қондырғы

Композитті жұқа үлдірлер мен бөлшектер алу мақсатында жоғары жиілікті сиымдылықты разряд пен магнетрондық разрядтың біріккен плазмасын алуға арналған эксперименттік қондырғы қолданылды. Қондырғының принциптік схемасы 1-суретте көрсетілген.



1 – Тозандандырушы магнетрон. 2 – Жоғары жиілікті электрод. 3 – Кварц терезелер. 4 – Жоғары жиілікті генератор. 5 – Тозанды бөлшектерді жоғары жиілікті плазмалық жүйеге енгізуге арналған ультрадыбысты табақша. 6 – Вакуумдау және газ енгізу бөлігі. 7 – Плазмалы-тозанды құрылым. 8 – Жерге жалғанған, экран электрод.

1 – сурет. Жоғары жиілікті сиымдылықты разряд пен магнетрондық разрядтың біріккен плазмасын алуға арналған эксперименттік қондырғының принциптік схемасы

Жоғары жиілікті сиымдылықты разряд плазмалы-тозанды құрылым түзуге арналған жүйе. Ол, диаметрлері 10 см, бір-бірінен 3 см арақашықтықта өзара параллель орналасқан жазық, екі металл электродтардан тұрады [10]. Электродтардың астыңғысы 13.56 МГц жиілікті генераторға, ал үстіңгі метал тор түрінде жасалған электрод жерге жалғанған. Үстіңгі электрод жоғары жиілікті және магнетрондық плазмаларын тудыратын жүйелерге ортақ және олардың аралығында экран қызметін атқарады. Плазма түзуші газ ретінде таза аргон және аргон мен метан газдарының қоспасы қолданылды. Камерадағы газ қысымы 0.1-0.4 Торр аралығында.

Магнетрондық тозандандыру жүйесі жоғары жиілікті плазмалық жүйе өсіне перпендикуляр орналасқан. Магнетронның катоды, тозандандырушы материал ретінде мыс

және алюминий таңдалды (жалпы кез-келген метал қолдануға болады). Тозандату кезінде пайда болған атомдар (молекулалар) ағыны бастапқы жылулық қозғалысы нәтижесінде жерге жалғанған тор электрод арқылы кедергісіз өтіп жоғары жиілікті плазмалық ортаға енеді. Бұл жерде плазма біріктіру (агрегация) аймағы қызметін атқарады.

Бұл зерттеу жұмысы үш бөлімнен тұрады: комплексті плазмада, 1) композитті нанобөлшектер (нанокластерлер), 2) нанокөпозитті тозанды бөлшектер және 3) наноүлдірлер алу.

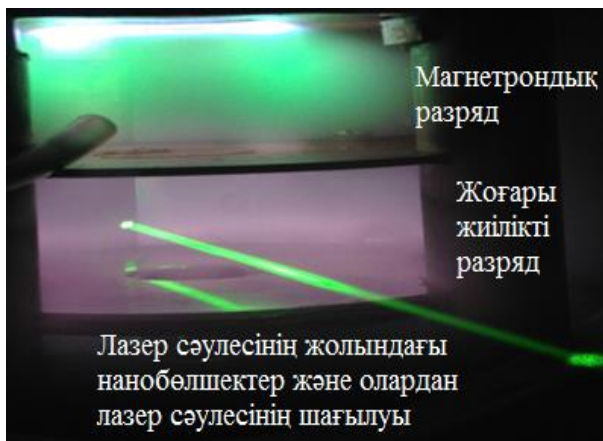
Эксперимент нәтижелері

Комплексті плазмада магнетрондық тозандандыру көмегімен композитті (көміртегі+мыс) нанобөлшектерін алу.

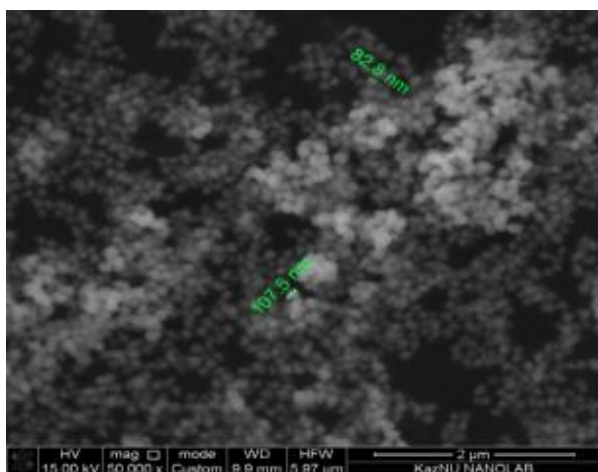
Көміртегі нанобөлшектерін өсіру үшін жоғары жиілікті разряд плазмасы метан (10%) және аргон газ қоспаларында жағылды [11,12]. Бұл жерде электр разряды жанғанда метан молекулалары бейтарап радикалдарға, көміртек гидридінiң анионы мен катионына ыдырайды. Ал разрядқа аргонның қатысумен бейтарап атомдардың өндірілуі жоғарылайды, ол Ag^+ және Ag^- соқтығысу нәтижесінде метан диссоциациясының жоғары жылдамдығы әсерінен болады. Осылайша, анион және катиондардың санына қарағанда бейтарап радикалдардікі көп. Бейтарап радикалдардың жоғары реакциялық қасиеті болғандықтан, олар өлшемі 0,5 нм бейтарап кластерлер (C_nH_x) түзетін полимерлеу реакциясына қатысады. Кластерлердің өсуі өлшемі 2 – 3 нм болғанша, яғни көміртек нанокластерлерінің монокристалы түзілгенше жүреді. Нанобөлшектердің өсу механизмі полимерлену, қанығу, коагуляция (бірігу) және нанобөлшектің беттік өсу фазаларынан тұрады.

Мыс атомдарының (молекулаларының) ағыны магнетрондық тозандандыру көмегімен алынады және көміртегі бөлшектерінің өсу фазасының коагуляция бөлімінде іске қосылады. Коагуляция жүретін уақыт эксперименттік жолмен анықталды. Ол жоғары жиілікті газдық разряд параметрлеріне тәуелді болады. Біздің жағдайымызда 40-50 сек. Осы процестер

жүзеге асатын эксперименттік қондырғының негізгі бөлігінің жұмыс режиміндегі фотосы 2 суретте көрсетілген. Өсу процесі кезіндегі композитті нанобөлшектерді лазер сәулесінің көмегімен жарықтандыру арқылы бақылауға болады.



2 – сурет. Метан және аргон газдарының қоспасындағы комплексті плазмалық жүйенің жұмыс режимі



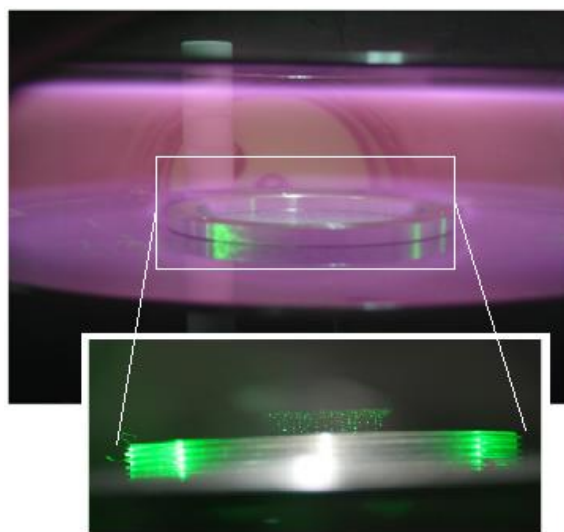
3 – сурет. Мыс және көміртегі композитті нанобөлшектердің сыртқы көрінісі

Эксперименттен кейін арнайы механизм көмегімен жиналып алынған композитті нанобөлшектердің лабораториялық үлгілер ток өткізгіш скотчпен атомдық электрондық-сканерлік микроскопқа орнатылып, тозаңданған материалдардың қасиеттері мен сипаттамаларына талдау жасалды. Композитті нанобөлшектердің сыртқы түрі 3 суретте көрсетілген, орташа диаметрі 80 нм.

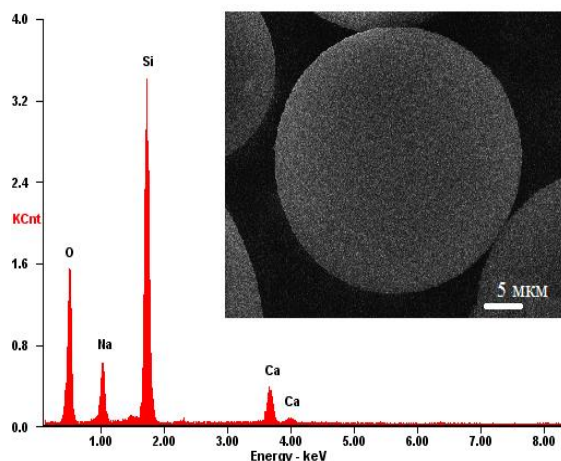
Комплексті плазмада магнетрондық тозаңдандыру көмегімен алюминиймен

қапталған композитті наноқұрылымды тозаңды бөлшектері алу.

Жоғары жиілікті разрядта пайда болған плазмалы-тозаңды құрылымның фотосы 4 суретте көрсетілген.



4 – сурет. Жоғары жиілікті газдық разрядта пайда болған плазмалы-тозаңды құрылым.

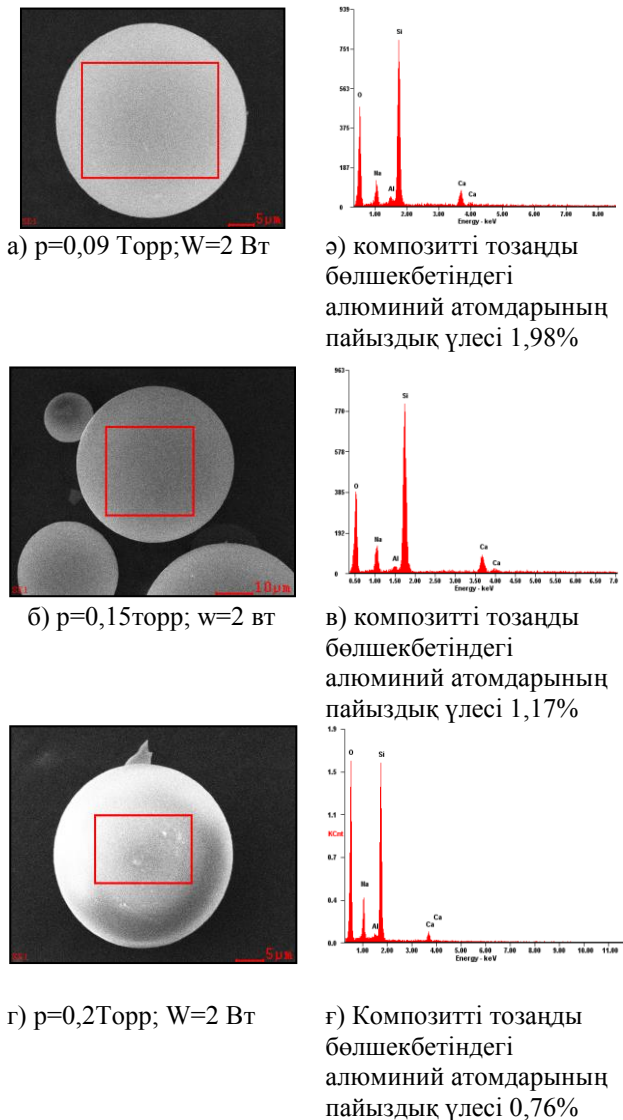


5 – сурет. Үлгі ретінде алынған әйнек макробөлшектің массалық құрамы (35,97 SiO₂; 6,78 CaO; 46,64 O; 10,62 Na₂O)

Плазмалық құрылым сфералық диэлектрлік макробөлшектерден тұрады (5-суретте). Тозаңды бөлшектер плазма құрамына сырттан арнайы механизм көмегімен енгізіледі.

Магнетрондық тозаңдандыру көмегімен алынған алюминий атомдарының (молекулаларының) ағыны плазмалы-тозаңды құрылымға бағытталады. Плазмаға (агрегациялық аймақ) енген бойда, алюминий атомдарының бір бөлігі сол оратадағы тозаңды бөлшектердің бетіне

отырады, енді бір бөлігі бірігіп нанокластерлер түзеді. Пайда болған нанобөлшектерді салыстырмалы түрде үлкен массала тозаңды бөлшектер өзіне жұта бастайды [13-16]. Осылайша, әртүрлі параметрдегі эксперименттер барысында алынған композитті нанокұрылымды алюминий қабатты тозаңды бөлшектердің электрондық-сканерлік микроскопта алынған фотолары және олардың беткі қабатының химиялық құрамын көрсететін спектрлер 6- суретте көрсетілген.



6 – сурет. Композитті тозаңды бөлшектердің беткі қабатының химиялық құрамын көрсететін спектрлер

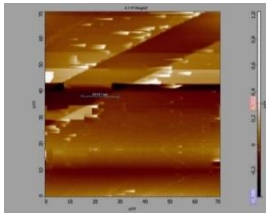
Эксперимент нәтижелерінен тозаңдандырылған микробөлшектің бетінде алюминий қабат бар екенін көрсетеді. Сонымен қатар, вакуумдық камерадағы газдың қысымын жоғарлатқан кезде беттік қабат құрамындағы алюминийдің пайыздық

үлесі төмендейтіні анықталды. Бұны келесідей түсіндіруге болады, қысым шамасы өскен сайын қабатталу механизмі трансформацияға ұшырайды. Қысым жоғарылаған кезде алюминий ағындағы атомдарының термализация ұзындығы реактордың геометриялық өлшемінен бірмаша кіші болып келеді. Тозаңдатылатын нысанадан тозаңды бұлтқа дейінгі қозғалыс кезінде тозаңдатылатын материал атомдарының ағыны плазма түзгіш газ атомдарымен соқтығысуынан термализацияланып жылдамдықтарын жоғалтады, нәтижесінде нанокұрылымды қабаттың қалыңдығы төмендейді. Сонымен қатар бетпен адгезиясы нашарлайды.

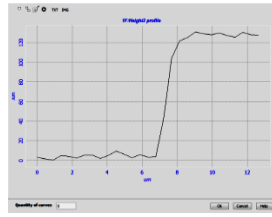
Комплексті плазмада магнетрондық тозаңдандыру көмегімен композитті нанокұрылымды мыс қабатты беттер алу.

Беттерде нанокұрылымды мыс қабықшалар алу магнетрондық тозаңдандыру әдісі көмегімен жасалынды. Жұмыс келесі ретпен орындалды. Алдынала арнайы тазалаудан өткізілген кремний төсеніші жоғары жиілікті разряд плазмасына, төменгі электродқа жақын орналастырылды. Бұл жағдайда төсеніш плазмалық ортада ілініп тұрғанмен пара-пар және Дебай радиусына сәйкес экрандалу керек, әдетте теріс потенциалды. Сонымен қатар массивті денемен жанасуы нашар болғандықтан төсенішпен қоршаған орта аралығында жылу алмасу төмен болады. Демек, магнетроннан төсенішке бағытталған мыс атомдарының және плазмалық ортада бірігуден пайда болған нанобөлшектер ағыны төсеніш бетіне жақындаған кезде жылулық және өрістік әсерге ұшырайды. Дәлірек айтсақ өріспен сепарацияланып [17], жылулық әсермен тежеледі. Осылайша, эксперименттер үш параметрде қайталанып жасалды. Өзгертін шама тозаңдандыру уақыты, 10, 20 және 35 минут. Экспериментте алынған нәтижелер 7 – суретте көрсетілген.

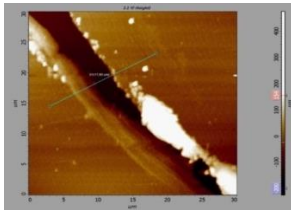
Тозаңдату уақыты 10 минут болғанда 130 нм, 20 минутта 150 нм және 35 минутта 185 нм қалыңдықты қабықша алынды. Осыларға сәйкес қабықшаның қалыңдау жылдамдығы 13 нм/мин, 7,5 нм/мин және 5,3 нм/мин.



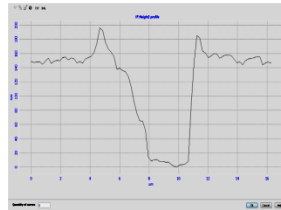
а) Нанокұрылымды мыс қабатты бет. $U=355$ В, $I=0.58$ А, $p=0.11$ Торр, $t=10$ мин



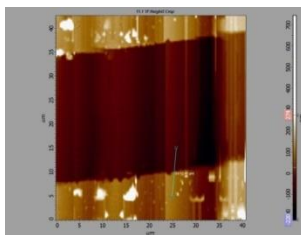
ә) Беттегі нанокұрылымды мыс қабаттың қалыңдығы бойынша профилі, 130 нм



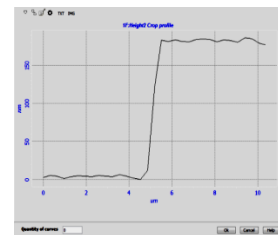
б) Нанокұрылымды мыс қабатты бет. $U=355$ В, $I=0.58$ А, $p=0.11$ Торр, $t=20$ мин



в) Беттегі нанокұрылымды мыс қабаттың қалыңдығы бойынша профилі, 150 нм



г) Нанокұрылымды мыс қабатты бет. $U=355$ В, $I=0.58$ А, $p=0.11$ Торр, $t=35$ мин



ғ) Беттегі нанокұрылымды мыс қабаттың қалыңдығы бойынша профилі, 185 нм

7 – сурет. Нанокұрылымды мыс қабатты бет, беттегі нанокұрылымды мыс қабаттың қалыңдығы бойынша профилі

Алынған нәтижелерге негізделгенде түзілетін мыс наноқабықшалардың құрылымы конденсациялану үрдісі мен разряд параметрлеріне тәуелді. Яғни, тозаңдату уақыты өскен сайын төсеніштің температурасы адсорбирленген атомдар әсерінен жоғарлайды да тозаңданатын мыс атомдары жылулық әсерге ұшырап төсеніш бетінен ауытқыйды, сол себепті наноқабықшалардың уақытқа тәуелді қалыңдауы баяулайды. Сонымен қатар, эксперименттерде алынған нанокұрылымды беттердің біркелкі екенін көруге болады. Бұл магнетроннан төсенішке бағыттталып, плазмада нано кластерлерге

айналған ағынның төсеніш бетіндегі өріспен сепарациялануына байланысты болу керек.

Қорытынды

Метан және аргон газдары қоспасының жоғары жиілікті разряд плазмасында магнетрондық тозаңдандыру әдісімен мыс және көміртегіден тұратын, орташа диаметрі 80 нм сфералық композитті нанобөлшектер өсірілді.

Тозаңды плазманы магнетронмен тозаңдандыру арқылы алюминиймен қапталған композитті нанокұрылымды бетті тозаңды бөлшектер алынды. Эксперименттік нәтижелерге сараптамалар жасау негізінде вакуумдық камерадағы газдың қысымын жоғарлатқан кезде беттік қабат құрамындағы алюминийдің пайыздық үлесі төмендейтіндігі, демек қабат қалыңдығын эксперимент параметрлеріне тәуелді басқаруға болатындығы анықталды.

Жоғары жиілікті сиымдылықты плазмалық ортада магнетрондық тозаңдандыру әдісімен композитті нанокұрылымды мыс қабатты беттер алынды. Алынған нәтижелерге негізделгенде түзілетін мыс наноқабықшалардың құрылымы және қалыңдығы конденсациялану үрдісі мен разряд параметрлеріне тәуелді екені анықталды.

Бұл ғылыми зерттеу жұмысы ҚР БҒМ қолдауындағы IRN AP05134391 гранты көмегімен жүзеге асырылды.

Әдебиеттер тізімі:

1. В.Н. Цытович. Плазменно-пылевые кристаллы, капли и облака // УФН. Том 176, №1, 57-99 (1997)
2. М.К. Досболаев. Экспериментальное исследование свойств пылевой плазмы – как открытой системы // ПЭОС. Выпуск 9, Том 2, стр. 60-63 (2007)
3. Rahul Sahay, Venugopal Jayarama Reddy and Seeram Ramakrishna. Synthesis and applications of multifunctional composite nanomaterials // International Journal of Mechanical and Materials Engineering 9:25 (2014)
4. Leticia García-Cruz, Conchi O. Ania, Ana Paula Carvalho, Teresa J. Badosz, Vicente Montiel and Jesús Iniesta. The Role of Carbon on Copper–Carbon Composites for the

- Electrooxidation of Alcohols in an Alkaline Medium // Journal of Carbon Research. 3, 36, pp. 1-16 (2017)
5. R. Ghosh Chaudhuri and S. Paria. Core/Shell Nanoparticles: Classes, Properties, Synthesis Mechanisms, Characterization, and Applications // Chem. Rev. 112, pp. 2373-2433 (2012)
6. Marco Biondi, Assunta Borzacchiello, Laura Mayol and Luigi Ambrosio. Nanoparticle-Integrated Hydrogels as Multifunctional Composite Materials for Biomedical Applications // Gels, 1, pp. 162-178 (2015)
7. Bao Phuong Huu Do, Ba Dung Nguyen, Hoang Duy Nguyen and Phuong Tung Nguyen. Synthesis of magnetic composite nanoparticles enveloped in copolymers specified for scale inhibition application // Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol. 4, 045016 (7pp)(2013)
8. C. Burda, X. Chen, R. Narayanan and M. A. El-Sayed, Chem. Rev. 105, 1025(2005)
9. Y.-C. Liu, H.-T. Lee and H.-H. Peng, Chem. Phys. Lett. 400, 436(2004)
10. T.S. Ramazanov, K.N. Dzhumagulova, A.N. Jumabekov and M.K. Dosbolayev. Structural properties of dusty plasma in direct current and radio frequency // PHYSICS OF PLASMAS. 15, 053704 (5pp)(2008)
11. L. Boufendi, M. Ch. Jouanny, E. Kovacevic, J. Berndt, and M. Mikikian. Dusty plasma for nanotechnology // Journal of Physics D: Applied Physics 44, 17, 174035(2011)
12. M.K. Dosbolayev, T.S. Ramazanov, T.T. Daniyarov, M. Silamiya, M.T. Gabdullin. Coating of thin nanofilms on microparticles in dusty plasma. Book of abstracts ICPDP-6, P. 124(2011)
13. H. Kersten, G. Thieme et. all, Pure Appl. Chem., No. 2, pp. 415-428 (2005)
14. P.V. Kashtanov, B.M. Smirnov et. all. Uspekhi Phys. Nauk, №5, pp. 473-510 (2007)
15. Ю. А. Манкелевич, М. А. Олеванов, А. Ф. Паль, Т. В. Рахимова, А.Н. Рябинкин, А. О. Серов, А. В. Филиппов. Коагуляция пылевых частиц в аргоновой плазме ВЧ-разряда // Физика плазмы, том 35, № 3, с. 219–228 (2009)
16. M.K. Dosbolayev, T.S. Ramazanov, T.T. Daniyarov et. all. 3rd International conference on The Physics of Dusty and Burning Plasmas, Odessa, Ukraine (2010)
17. D.G. Batryshev, T. S. Ramazanov, M.K. Dosbolayev and M. T. Gabdullin. A Method of Separation of Polydisperse Particles in the Plasma of Radio-Frequency Discharge // Contrib. Plasma Phys. 55, No. 5, pp. 407-412 (2015)

20.09.2018 басылымға қабылданды

М. Сламия, Е. Сәйдібек, О.А. Ертаев, Қамбаров Ә., М.Қ. Досболаев
АТҰНЗ, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы қ. Қазақстан
s.mauletbek@gmail.com

КОМПЛЕКСТІ ПЛАЗМАДА МАГНЕТРОНДЫҚ ТОЗАҢДАНДЫРУ КӨМЕГІМЕН НАНОҚҰРЫЛЫМДЫ КОМПОЗИТТІ БӨЛШЕКТЕР МЕН ҚАБЫҚШАЛАР АЛУ

Аннотация: Қарастырылып отырған жұмыста тұрақты тоқтағы магнетрондық тозаңдандыру әдісі көмегімен газдық разрядтың комплексті плазмасында (тозаңды плазма) нанокұрылымды қабатты композитті тозаңды бөлшектер, нанобөлшектер және нано қабықшалы бетер алудың түрлі режимдері зерттеліп, эксперименттердің тиімді параметрлері анықталды. Комплексті плазма алу үшін жоғары жиілікті сиымдылықты газдық разряд қолданылды. Комплексті плазма – ашық жүйе. Плазмадағы тозаңды құрылым (кристалл) шынының полидисперсті сфералық макробөлшектерін арнайы механизм көмегімен сырттан енгізу арқылы пайда болды. Макробөлшектер бетіндегі нанокұрылымды алюминий қабат магнетрондық тозаңдандыру көмегімен алынды. Көміртегі нанобөлшектер газдық разряд көлемінде плазма химиялық процестердің жүруінен пайда болады, ол үшін аргон және метан (10 %) газдарының қоспасы қолданылды. Көміртегі нанобөлшектерінің пайда болу (өсу) процесі бірнеше этаптардан тұрады, оның бірі өлшемдері 2-3 нм болатын көміртегі нанокластерлерінің монокристалының түзілуі. Бұл процестің жүруінің уақыт диапазоны эксперименттік жолмен анықталды. Осы процесс жүру кезінде көміртегі нанокластерлеріне

магнетрондық тозандандыру көмегімен мыс микробөлшектерінің ағыны бағытталады. Нәтижесінде мыс және көміртегіден тұратын композитті нанобөлшектер алынды. Осылайша, бірнеше рет қайталанып жасалған эксперименттер нәтижесінде композитті тозаңды бөлшектердің, нанобөлшектердің және нанокұрылымды қабықшалы беттердің лабораториялық үлгілері алынды және олардың химиялық құрамы, геометриялық өлшемдері электрондық микроскоп көмегімен анықталды.

Түйін сөздер: жоғары жиілікті сиымдылықты газдық разряд, комплексті плазма, плазмалы-тозаңды құрылым, магнетрондық тозандандыру.

М. Сламия, Е. Сәйдібек, О.А. Ертаев, Ә.Қамбаров, М.Қ. Досболаев
ННЛОТ, КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан
s.mauletbek@gmail.com

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ КОМПОЗИТНЫХ ЧАСТИЦ И ПЛЕНОК В КОМПЛЕКСНОЙ ПЛАЗМЕ С ПОМОЩЬЮ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

Аннотация: В данной работе показаны результаты экспериментальных исследований различных режимов получения композитных пылевых частиц с наноструктурированными поверхностными слоями, наночастицы и нанопленок в комплексной (пылевой) плазме газового разряда с помощью метода магнетронного распыления в постоянном токе, а также были определены эффективные параметры эксперимента. Для получения комплексной плазмы был применен высокочастотный емкостной газовый разряд. Такая комплексная плазма является открытой системой [1,2]. Пылевая структура (кристалл) в плазме образовалось внедрением извне полидисперсных сферических макрочастиц стекла, используя специально разработанный механизм. Алюминиевый нанослой на поверхностях макрочастиц был осажден с помощью магнетронного распыления. Наночастицы углерода в объеме газового разряда синтезируются в результате плазмохимического процесса, для протекания этого процесса использовался смесь газов аргона и метана (10 %). Образование углеродных наночастиц (их рост) состоит из нескольких этапов, один из них образование монокристалла из нанокластеров углерода с размерами 2-3 нм. Диапазон времени, затраченный на данный процесс, определялся экспериментально. Во время образования монокристалла углерода к ним направляется поток распыленных микрочастиц меди с помощью магнетрона. В результате чего получаем композитные наночастицы состоящие из углерода и меди. Таким образом, были получены лабораторные образцы композитных пылевых частиц, наночастиц и пленок с наноструктурированными слоями. Проведены химический анализ состава образцов и определены их геометрические формы и размеры с помощью электронного микроскопа.

Ключевые слова: высокочастотный емкостной газовый разряд, комплексная (пылевая) плазма, плазменно-пылевая структура, магнетронное распыление.

M. Slamia, Ye. Saidibek, O.A. Yertayev, A. Kambarov, M.K. Dosbolayev
NNLOT, Al-Farabi KazNU, Almaty, Kazakhstan
s.mauletbek@gmail.com

OBTAINING OF NANOSTRUCTURED COMPOSITE PARTICLES AND FILMS IN A COMPLEX PLASMA BY MAGNETRON SPUTTERING

Abstract: This paper shows the results of experimental studies of various modes of obtaining composite dust particles with nanostructured surface layers, nanoparticles and films with nanolayers in a complex (dusty) gas discharge plasma using the direct current magnetron sputtering method. Also the effective parameters of the experiment were determined. To obtain a complex plasma, a high-frequency capacitive gas discharge was applied. Such a complex plasma is an open system.

The dust structure (crystal) in the plasma was formed by the injection of polydisperse spherical particles of glass by the specially developed mechanism. An aluminum nanolayer on the surface of the particulates was precipitated using magnetron sputtering. Carbon nanoparticles in the gas discharge volume are synthesized as a result of a plasma-chemical process by using the mixture of argon and methane gases (10%). The formation of carbon nanoparticles (their growth) consists of several stages, one of them is the formation of a single crystals from carbon nanoclusters with dimensions of 2-3 nm. The range of time spent on this process was determined experimentally. During the formation of a carbon monocrystal, a stream of sputtered copper microparticles is directed to them using a magnetron. As a result, we obtain composite nanoparticles consisting of carbon and copper. Thus, laboratory prototype of composite dust particles, nanoparticles, and films with nanostructured layers were obtained. A chemical analysis of the composition of the samples was carried out and their geometrical shape and dimensions were determined using an electron microscope.

Keywords: high-frequency capacitive gas discharge, complex (dusty) plasma, plasma-dust structure, magnetron sputtering.