

ӨЖ 537.523/.527

М. Сламия, С.А. Оразбаев, М.Н. Жұмағұлов, М. Қабылқак, А.Н., Жұмабеков
 М.Қ. Досболаев*, Т.С. Рамазанов
 ЭТФҒЗИ, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан, Алматы қ.
 *E-mail: merlandos@mail.ru

Жоғары жиілікті сыйымдылықты разрядтағы тозаңды плазманың концентрациясының жарық интенсивтілігіне әсерін зерттеу

Аңдатпа. Жұмыста жоғарғы жиілікті сыйымдылықты разрядта аргон газының құрамына оптико-спектрлік талдау негізінде тозаңды бөлшектер концентрациясының плазма интенсивтілігіне әсері тәжірибеде зерттелген. Алынған нәтиже бойынша тозаңды бөлшектер концентрациясының аз уақытта плазма интенсивтілігі түсетіні және оларды арттырғанда керісінше көтерілетіндігі байқалды. Бұл жұмыста алынған нәтижелер алдағы уақытта тозаңды плазманың басқа да қырларын зерттеуге, сонымен бірге озық технологиялар жасауда кеңінен қолданысқа ие бола алады.

Кілттік сөздер: тозаңды плазма, аргон, жиілікті сыйымдылықты разряд, эксперименттік зерттеу.

Кіріспе

Тозаңды плазма – құрамында электрондар, иондар, нейтрал атомдармен қоса теріс немесе оң зарядталған бөлшектері бар иондалған газ. Қазіргі таңда тозаңды плазма көптеген салада, атап айтсақ, микроэлектроника, композитті наноматериалдар жасау, ғарыш технологияларында, термоядролық синтезде т.с.с. қолданысқа ие болуына байланысты бұл саланы зерттеу қарқынды түрде дами түсуде [1-2].

Плазмалық ортаға енгізілген немесе плазмалық реакторлардың электродтарының және қабырғалық материалдарының өздігінен эрозиялануы нәтижесінде пайда болған бөлшектер электрлік зарядталады. Бұл тозаңды бөлшектердің зарядталу процесі электрондар мен иондар ағынын жұту нәтижесінен жүреді. Ал осы тозаңды бөлшектер электрондардың үлкен жылдамдығының арқасында оң (шамамен 104 бірлік заряд) заряд алады. Тозаңды бөлшектердің зарядының үлкен болуы салдарынан әрекеттесетін зарядтардың көбейтіндісіне тура пропорционал, олардың электростатикалық әрекеттесуінің потенциалдық энергиясы үлкен. Сондықтан да тозаңды бөлшектердің идеал болмауы электрон-ионды жүйенің идеал болмауына қарағанда едәуір оңай түрде жүзеге асады. Бірақ макробөлшектердің концентрациясы электрондар мен иондардың концентрациясы-

нан әлдеқайда төмен. Соның нәтижесінде зертханалық жағдайда тозаңды бөлшектер жүйесінде реттелген құрылымы Кулондық кристалданудың пайда болуына әкеледі.

Тозаңды плазманың оптикалық қасиеттерін зерттеу плазмалы-тозаңды жүйе параметрлері жайында ауқымды мәлімет алуға және жүйедегі физикалық процестерді тереңірек түсінуге мүмкіндік беретіндіктен, өзекті ғылыми мәселе болып табылады. Бұл әдістің ерекшелігі жүйеге мүлдем әсер етпей, ешқандай кереғар пікірсіз ақпаратты дәл алуға мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер тозаңды бөлшектердің концентрациясының өсуі буферлі плазма құрамына әсерінің қандай екенін көрсетеді.

Тәжірибе

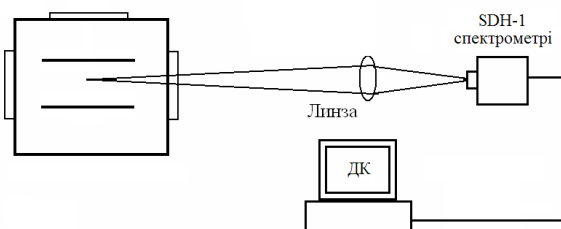
Тозаңды плазманың оптикалық қасиеттерін зерттеу үшін жоғарғы жиілікті сыйымдылықты разряд негізіндегі қондырғы және SDH-1 спектрометрі қолданылды [5-6]. Жасалған тәжірибенің принципалды схемасы төменде 1-суретте көрсетілген [5].

Параллель жазық екі электрод жоғарғы жиілікті сыйымдылықты камерада орналасқан. Электродтардың диаметрі – 19 см. Арақашықтығы – 2 см. Төменгі электродқа жиілігі 13,56 МГц жоғарғы жиілікті кернеу беріледі және жоғарғы электрод жерге жалғанған. Жоғарғы

жиілікті генератордан берілетін қуат – 2-20 Вт. Жұмыс газы ретінде аргон газы алынды, қысымы 0,05-2 тор аралығында. Жұмыста тозаңды бөлшектер ретінде орташа диаметрі 50 нм Al бөлшектері қолданылды.

ЖЖ разрядтағы тозаңды плазманың оптикалық қасиеттерін зерттеу аргон плазмасының 700-800 нм спектрлік аралығындағы жарықтану интенсивтілігін бақылау негізінде жүргізілді. Спектрлік бақылау ЖЖ камераның көру айнасынан жүзеге асырылды. Бірнеше оптолинзалардан тұратын оптикалық жүйенің көмегімен спектрометр SDH-1 кіріс аумағына ЖЖ электродтарының аралығының анық бейнесі фокусталды. ЖЖ разрядты жаққаннан соң, плазмалық ортаға тозаңды бөлшектер тасталды. Спектрлерді жазу арнайы сандық бейнекамераның көмегімен жүзеге асты және бұл мәліметтер ары қарай өңдеу жүргізетін компьютерге жазылды.

ЖЖ камера

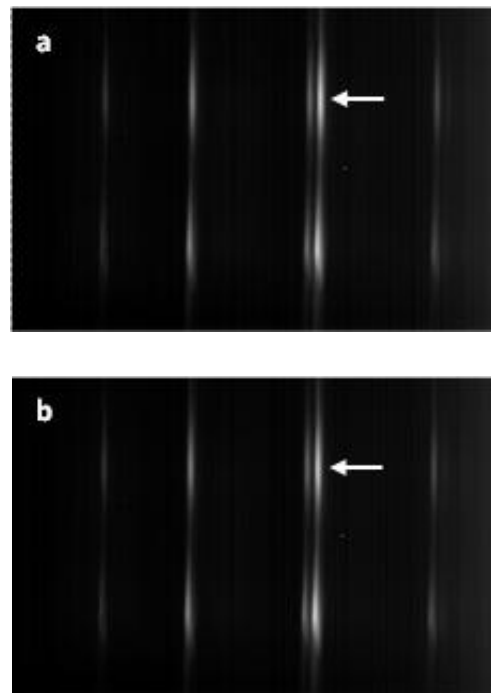


1-сурет – Плазмалы-тозаңды құрылымдарды зерттейтін қондырғының принципіалды схемасы

Тәжірибелік жұмыста жоғарғы жиілікті сыйымдылықты разрядтың α -фазалық аумағы қаралады [7-9]. ЖЖ разрядтың α -фазалық аумағының ерекшелігі, плазма электродтар аймағында жарықтану интенсивтілігі жоғары болады. Сонымен қатар бұл аумақ плазма құрамы жағынан да ерекшеленеді, яғни оң кеңістіктік заряд қабаты байқалады [8-9].

Алынған нәтижелер

Плазма құрамында тозаңды бөлшектер жоқ және олардың концентрациясын көбейткенде аргон плазмасының сипаттауыш спектрлік сызығының интенсивтіліктері алынды. ЖЖСР плазмасының 700 және 800 нм аймағындағы қысымы $p=0,125$ тор, ал разряд қуаты $P=6,25$ Вт болғандағы аргон газының сипаттауыш спектрлері 2-суретте көрсетілген.



а) буферлі плазманың спектрі;
б) тозаңды плазманың спектрі.

2-сурет – Газ қысымы $p=0,125$ тор, ал разряд қуаты $P=6,25$ Вт болғандағы аргон газының сипаттауыш спектрлері

Суреттің жоғарғы және төменгі аумақтары, сәйкесінше, жоғарғы және төменгі электродтарға сәйкес келеді (парраллель орналасқан екі электродтың арасы). Толқын ұзындығы оң жақтан сол жаққа қарай өседі. Суреттегі спектрлік сызықтар жоғарғы және төменгі электродтар аумағында плазманың жарық интенсивтілігінің жоғары болатынын көрсетеді.

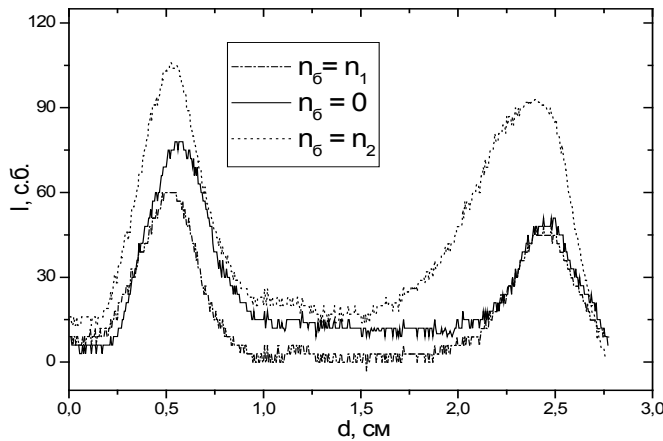
3-суретте тозаңды бөлшектерді буферлі плазманың құрамына енгізгенге дейінгі және кейінгі спектрлік сызықтардың интенсивтілігіне әсері көрсетілген. Сипаттауыш аргон газының 750,38 нм атомдық спектрлік сызығының бір деңгейден екінші деңгейге көшуі – $3s^23p^5(^2P^{\circ}_{1/2})4s - 3s^23p^5(^2P^{\circ}_{1/2})4p$ және көшу ықтималдығы – $A_{ki}(\text{sec}^{-1})=4.45 \cdot 10^7$.

Графиктің абцисса өсінің ұзындығына катод пен анодтың арасы сәйкес келеді, яғни сол жағы жоғарғы электрод, оң жағы төменгі электрод.

Осы графиктің көмегімен біз 750,38 сипаттауыш спектрлік сызығының профилді интенсивтіліктерін салыстыра аламыз. Ол осы сызықтың 1000 кадр бойынша түсірілген интенсивтіліктерінің таралуының орташасын алу жолымен жүзеге

асады. 3-суретте газ қысымы $p=0,125$ торр, ал разряд қуаты $P=6,25$ Вт кезіндегі плазманың интенсивтілігі көрсетілген.

Бірінші тәжірибеде бөлшек өлшемі мен тығыздығы $n_d \approx 2 \cdot 10^2 \text{ cm}^{-3} = n_1$, $r \approx 4 \mu\text{m}$; екіншісі бөлшектерсіз; үшінші тәжірибеде бөлшектер тығыздығы өте үлкен болды ($n_d \approx 10^5 \text{ cm}^{-3} = n_2$, $r \approx 50 \text{ nm}$). Суретте тозаңды бөлшектер кон-



Газ қысымы – $p=0,125$ торр, разряд қуаты – $P=6,25$ Вт.

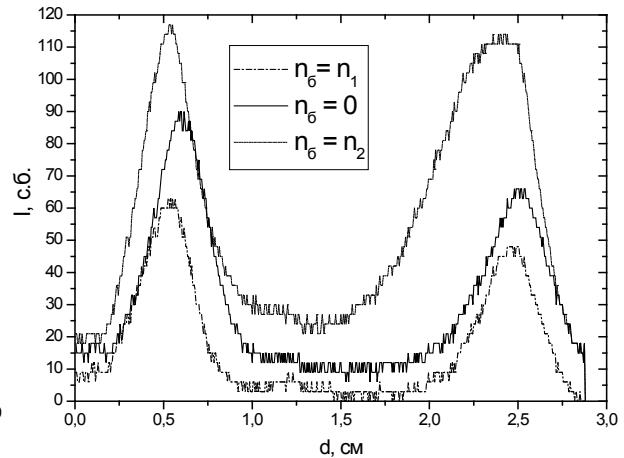
3-сурет – Аргон газының сипаттауыш $750,38$ нм спектрінің тозаңды бөлшектері бар және олардың жоқ кездегі спектрлік интенсивтіліктері

Қорытынды

Жұмыста жоғарғы жиілікті сыйымдылықты разрядта аргон газының құрамына оптико-спектрлік талдау негізінде тозаңды бөлшектер концентрациясының плазма интенсивтілігіне әсері тәжірибеде зерттелген. Жұмыстағы сипаттауыш толқын ұзындығы $750,38$ нм болатын атомдық спектрлік сызық жоғарғы және төменгі электродтар аумағында плазманың жарық интенсивтілігінің жоғары болатынын көрсетеді. Алынған нәтиже бойынша тозаңды бөлшектер концентрациясы аз уақытта плазма интенсивтілігі түсетінін және оларды арттырғанда керісінше көтерілетіндігін байқатты.

Бұл жұмыста алынған нәтижелер алдағы уақытта тозаңды плазманың басқа да қырларын зерттеуге, сонымен бірге озық технологиялар жасауда кеңінен қолданысқа ие бола алады.

центрациясының әртүрлі мәніндегі жарық интенсивтіліктері көрсетілген. Тәжірибе тозаңды бөлшектер концентрациясы n_1 кезінде интенсивтілік түсетінін, ал концентрациясы n_2 болғанда, керісінше, өсетінін көрсетті. Бұл тәжірибеде алынған нәтижелер разряд қуатының басқа да параметрлерінде дәл орындалатынын байқатты (4-сурет).



Газ қысымы $p=0,125$ торр, ал разряд қуаты $P=11,25$ Вт.

4-сурет – Аргон газының сипаттауыш $750,38$ нм спектрінің тозаңды бөлшектері бар және олардың жоқ кездегі спектрлік интенсивтіліктері

Әдебиеттер тізімі

- 1 Фортон В.Е., Храпак А.Г., Храпак С.А., Молотков В.И., Петров О.Ф. Пылевая плазма // УФН. – 2004. – Т.174, №5. – С.495-543.
- 2 Thoma M.H., Kretschmer M., Rothermel H., Thomas H.M., and Morfill G.E. The plasma crystal // Am. J. Phys. – 2005. – Vol.7. – P.420-426.
- 3 Ramazanov T.S., Dzhumagulova K.N., Jumabekov A.N., and Dosbolayev M.K. Structural properties of dusty plasma in direct current and radio frequency gas discharges // Phys. Plasmas. – 2008. – Vol. 15, No.5. – P.053704.
- 4 Maiorov S.A., Ramazanov T.S., Dzhumagulova K.N., Jumabekov A.N., and Dosbolayev M.K. Investigation of plasma-dust structures in He-Ar gas mixture // Phys. Plasmas. – 2008. – Vol. 15, No.9. – P.093701.
- 5 Azharonok V.V., Filatova I.I., Shimanovich V.D. and Orlov L.N. Influence of the High Frequency Capacitive Discharge Regimes on the Parameters

of the Plasma in N₂/CO₂/He Gas Mixtures // J. Appl. Spectroscopy. – 2002. – Vol.69, No.5. – P.761-758.

6 Райзер Ю.П., Шнейдер М.Н., Яценко Н.А. Высоочастотный емкостной разряд. – М.: Физматлит, 1995. – 320 с.

7 Райзер Ю.П. Основы современной физики газоразрядных процессов. – М.: Наука, 1980. – 415 с.

8 Land V. and Goedheer W.J. The plasma inside a dust free void: hotter, denser, or both? // New J. Phys. – 2007. – Vol. 9. – P.246.

9 Mitic S., Pustylnik M.Y. and Morfill G.E. Spectroscopic evaluation of the effect of the microparticles on radiofrequency argon plasma // New J. Phys. – 2009. – Vol. 11. – P. 083020.

**М. Слами́я, С.А. Оразбаев, М.Н. Жумагулов, М. Кабылкак, А.Н. Жумабеков,
М.К. Досболаев, Т.С. Рамазанов**

**Исследование влияния концентрации пылевой плазмы на интенсивность свечения
в высоочастотном емкостном разряде**

В работе приведены результаты экспериментального исследования оптических свойств пылевой плазмы высоочастотного емкостного разряда в аргоне. На основе анализа пространственного распределения спектральных линий показано влияние пылевой компоненты на интенсивность свечения плазмы. По полученным результатам было замечено, что с уменьшением концентрации пылевых частиц интенсивность свечения плазмы уменьшается и, наоборот, с увеличением концентрации пылевых частиц интенсивность свечения плазмы увеличивается. Результаты данного исследования в будущем могут быть использованы для исследования других свойств плазмы и для разработки современных технологий.

Ключевые слова: пылевая плазма, аргон, частотный емкостной разряд, экспериментальное исследование.

**M. Slamiya, S.A. Orazbayev, M.N. Jumagulov, M. Kabylkak, A.N. Jumabekov,
M.K. Dosbolayev, T.S. Ramazanov**

Investigation of optical properties of dusty plasma in capacitive radio frequency discharge of argon

In present paper the results of the experimental investigations of optical properties of dusty plasma in capacitive radio frequency discharge were presented. The influence of dust component on intensity of spectral lines was shown on the basis of analysis of spatial spectra of radiofrequency discharge plasma. Experiments for defining the emission intensity were carried out at different values of number density of dust particles and without them. Experiments have shown that with the increasing of number density of dust particles the emission intensity in the near-electrode regions increases and decreases with the decreasing of number density of dust particles. Results of present work can find the applications in modern technologies and also for investigating of other plasma properties.

Keywords: Dusty plasma, argon, frequency capacitive discharge, experimental reserch.