ЖУРНАЛ ФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
т. 3, № 1 (1999) с. 47–54

JOURNAL OF PHYSICAL STUDIES
v. 3, No. 1 (1999) p. 47–54

ЕЛЕКТРИЧНІ ТА ОПТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ПЛАЗМИ ІНЕРТНИХ ГАЗІВ У НЕОДНОРІДНОМУ ЕЛЕКТРИЧНОМУ ПОЛІ

О. К. Шуаібов, Л. Л. Шимон, А. Й. Дащенко, І. В. Шевера, О. Й. Миня
Ужгородський державний університет,
вул. Підгірна, 46, Ужгород, 294000, Україна
(Отримано 4 липня 1997 р.; в остаточному вигляді — 1 грудня 1997 р.)

Подано результати систематичних досліджень електричних та оптичних характеристик від'ємного коронного розряду в системі електродів "голки–сітка". Розряд досліджували в He і сумішах He/R, He/Ar(Kr)/R (де: R — Ne, Ar, Kr, Xe) при тисках 50…350 кПа та складах сумішей, які типові для лазерів високого тиску на атомах інертних газів. Система електродів коронного розряду була рівномірно розподілена за довжиною ($L \leq 11$ см), яка дорівнює довжині активного середовища малоґабаритного лазера високого тиску, тому такий розряд є цікавим для використання в системах ультрафіолетової передйонізації лазерів на d–p переходах атомів Ar, Kr та Xe і $3p$–$3s$ переходах Ne.

Показано, що цей коронний розряд характеризується досить високою просторовою однорідністю. У спектрах випромінювання плазми коронного розряду спостерігали неперервне випромінювання йонів He_2^{+*} і лінії на np–ns переходах атомів інертних газів. Лінії випромінювання плазми були розщепленими на дві–три компоненти і розширеними.

Розгляд механізмів заселення збуджених станів атомів інертних газів показав, що основними процесами заселення є дисоціятивна рекомбінація, ступінчасте та пряме збудження електронним ударом. Для np станів атомів важких інертних газів спостерігали їх гасіння при взаємодії з атомами He при тисках газових сумішей $\leq$150 кПа.

Ключові слова: низькотемпературна плазма, інертні гази, коронний розряд, газовий лазер.

PACS number(s): 52.80.–s; 52.20.Jm

I. ВСТУП

Низькотемпературна плазма високого тиску на атомах інертних газів є активним середовищем лазерів, які працюють у близькій інфрачервоній (ІЧ) і видимій ділянках спектра [1–3]. У цих лазерних випромінювачах високого тиску широко застосовують електродні структури з високою просторовою неоднорідністю напружености електричного поля для УФ передйонізації розрядного об'єму [4, 5]. Подібні системи електродів використовують також у замкнутому контурі системи електричного прокачування робочих середовищ потужних імпульсно–періодичних лазерів [6, 7] та в електрофільтрах лазерних систем.

Для цих застосувань коронного розряду (КР), який називають біполярним [8], використовують різні набори розрядних проміжків типу "голки–сітка". Довжина рядів з голками повинна бути більшою від довжини активного середовища лазера або дорівнювати їй.

Характеристики таких КР із живленням постійною від'ємною напругою в робочих середовищах лазерів високого тиску на атомах інертних газів раніше не досліджували. У нашій роботі подано результати систематичних досліджень електричних та оптичних характеристик від'ємного КР в робочих середовищах лазерів на атомах Ne, Ar, Kr і Xe.

II. ТЕХНІКА ТА УМОВИ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Експериментальна установка для дослідження характеристик КР складалась із розрядної камери високого тиску з системою електродів, джерела високої напруги ($U \leq 12$ кВ, $I \leq 15$ мА) і системи реєстрації. Система електродів КР містила один або два ряди голок і металеву сітку. Довжина рядів з голками складала 11 см (1 ряд) або — 5 см (2 ряди). Густина голок у ряді: 1 голка на 1 см довжини, а віддаль між рядами голок — 8 мм. Радіус закруглення вістря голки — 0.5 мм. В експериментах використовували нікелеву сітку з комірками 1×1 мм і діяметром дроту — 0.3 мм. Від'ємний КР у He досліджували в системах електродів з одним або двома рядами голок, а КР у сумішах He/R вивчали лише в системах електродів з двома рядами голок.

Джерело живлення від'ємної полярности під'єднували до рядів з голками через обмежуючий опір 1…3 МОм. Випромінювання плазми відбирали із середини міжелектродного проміжку без застосування спеціяльних оптичних систем відбору випромінювання плазми. При цьому в полі зору вхідної щілини монохроматора перебувала плазма всього розрядного об'єму. Випромінювання плазми досліджували при допомозі монохроматора МДР–2, ФЭУ–106, підсилювача постійного струму і самописця КСП–4. Калібрування системи реєстрації проведене в області спектра

200…1000 нм при допомозі водневої лампи ДВС–25 та теплової лампи СИ8–200.

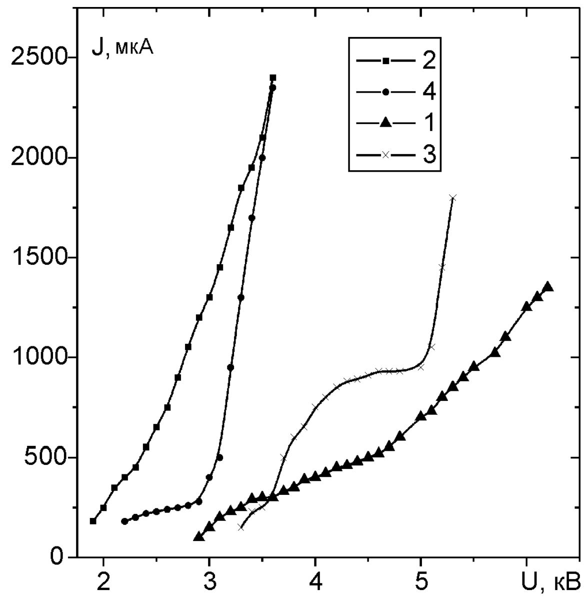

Рис. 1. Вольт–амперні характеристики КР для системи електродів з одним (1, 2) і двома (3, 4) рядами голок в He: 1, 3 — P_{He}=300 кПа, 2, 4 — P_{He}=150 кПа.

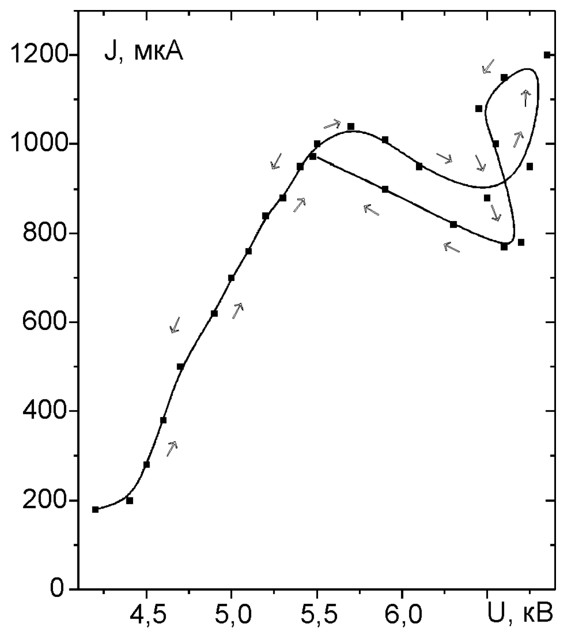

Рис. 2. Вольт–амперна характеристика КР в суміші He/Kr: P=300/8 кПа.

Для контролю за характером випромінювання плазми КР на місці ФЭУ застосовували чутливий імпульсивний фотоприймач: електронний лінійний помножувач ЭЛУ14ФС з наносекундним часовим розділенням і осцилограф С1–79. Пряме спостереження за інтенсивностями випромінювання ліній інертних газів показали, що в основному діяпазоні робочих напруг воно стаціонарне. Імпульсні характеристики випромінювання гелієвої плазми фіксували лише в області переходу КР в стрімер, проте при цих напругах живлення КР дослідження його характеристик не проводили.

Система реєстрації електричних характеристик КР була подібна до описаної в роботах [9, 10].

III. ПРОСТОРОВІ ТА ЕЛЕКТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

КР у сумішах He/R спостерігали у вигляді досить однорідних тліючих розрядів, які заповнювали майже весь розрядний проміжок. Ґенераційні зони КР були слабковираженими і розміщувались поблизу вістря голок або дротин нікелевої сітки. Поперечний переріз плазми КР був у вигляді одного або двох (частково перетнутих) рівнобедренних трикутників з вершинами біля вістря голок і основою на сітці. Із ростом напруги живлення біля однієї з голок утворювався інтенсивний анодний стрімер, що приводило до контраґування однорідного тліючого розряду в зовнішній області КР. При понижених тисках газових середовищ ($P \leq 100\ldots150$ кПа) анодний стрімер трасформувався в дугу, яка стійко запалювалась біля однієї з голок.

Використання неону в ролі буферного газу для подвійних і потрійних газових середовищ приводило до швидкого контраґування КР в декількох точках розрядного об'єму, тому одержати стійкий КР у цих середовищах не вдалося. Основна причина такого явища пов'язана з особливістю поширення стрімерів у неоні. Так, у роботі [11] відзначено, що в неоні електронні лавини переходять в анодний стрімер до утворення катодного стрімера. Це явище накладає ряд обмежень на застосування досліджуваного КР в ролі системи передйонізації робочих середовищ лазерів високого тиску зі значним умістом неону.

Осцилографічні дослідження струму КР показали, що він є, в основному, стаціонарним. Лише в області переходу КР в стрімер на фоні неперервного струму з'являлись імпульси струму частотою $\sim$ 1 кГц. У КР на He високого тиску ($P \geq 300$ кПа) зареєстровано реґулярні низькочастотні імпульси струму КР (1…100 Гц), зумовлені його йонізаційною нестійкістю. Аналогічну нестійкість КР спостерігали в гелієвому лічильнику, де КР запалювався в коаксіяльній системі "дріт–циліндр" [12].

Поведінка КР розряду на сумішах інертних газів відповідає основним висновкам нелінійної теорії КР [13, 14]. Умови цього експерименту були сприятливими для розвитку нелінійностей КР, що виникають при відношенні міжелектродної віддалі (d) до радіуса кривини голки (r) порядку $d/r \geq 10$ і підвищених струмах КР [14]. При цьому внутрішні об'ємні заряди в плазмі так сильно вирівнюють напруженість електричного поля в зовнішній області КР, що в ній запалюється самостійний розряд високого тиску з високою просторовою однорідністю.

Типові вольт–амперні характеристики (ВАХ) біполярного КР у He і сумішах He/R подані на рис. 1, 2. Форма ВАХ КР у He сильно залежала від тиску газу і конструкції потенціяльного електрода. Для КР з одним рядом голок як при високих, так і при низьких тисках He ВАХ розряду описувалась залежністю $I = \alpha(U - U_0)^2$ [15] (де: α — стала, U_0 — потенціял запалювання розряду), яка є типовою для КР. При підвищених тисках He КР найстійкіший і має найширший діяпазон стабільного запалювання за величиною напруги на голках. При підвищених тисках He взаємовплив плазми КР з різних рядів голок зростає, що виявлялось на початкових ділянках ВАХ (рис. 1). Така поведінка ВАХ КР в He, найімовірніше, зумовлена зростанням концентрації метастабільних атомів і молекул гелію при підвищенні тиску. При зниженні тиску He до 100...150 кПа потенціяли запалювання КР значно зменшуються, і при цьому звужується діяпазон стійкого існування КР за напругою. Величина струму КР при зниженні тиску газів зростала. Максимальна величина струму на однорідній стадії КР визначалась величиною зовнішнього обмежуючого опору.

У сумішах He з атомами важких інертних газів (рис. 2) форма ВАХ КР значно змінювалась. Початкова ділянка ВАХ ставала майже лінійною, а при підвищенні напруги живлення на ВАХ з'являлись ділянки з від'ємним опором і петлями гістерезису. Це вказувало на проміжковий тип цього розряду (між коронним та тліючим). Перехід на від'ємну гілку ВАХ з петлями гістерезису зумовлений накопиченням метастабільних частинок $R(m)$, $R_2(m)$ в плазмі. Точка цього переходу зсувається в область нижчих напруг при збільшенні атомної ваги газу R, що корелюється з ростом ефективних перерізів та зниженням порогів реакції збудження атомів $R(m)$ повільними електронами. [16, 17]. Ця стадія КР завершується розвитком нестійкости, зумовленої процесами хемійонізації метастабільних атомів інертних газів [12].

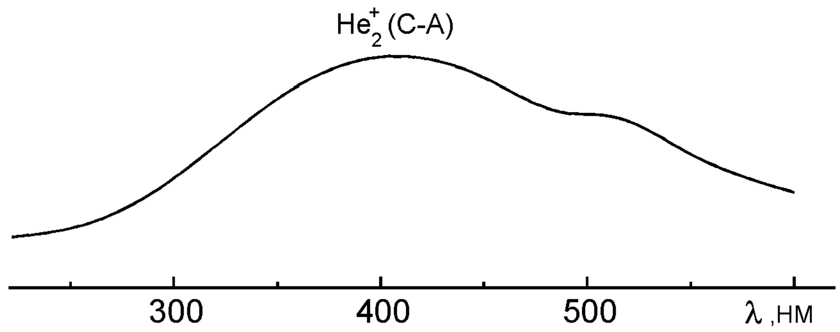

Рис. 3. Спектр випромінювання від'ємного КР на He при P=300 кПа в системі електродів з одним рядом голок при I=2 мА.

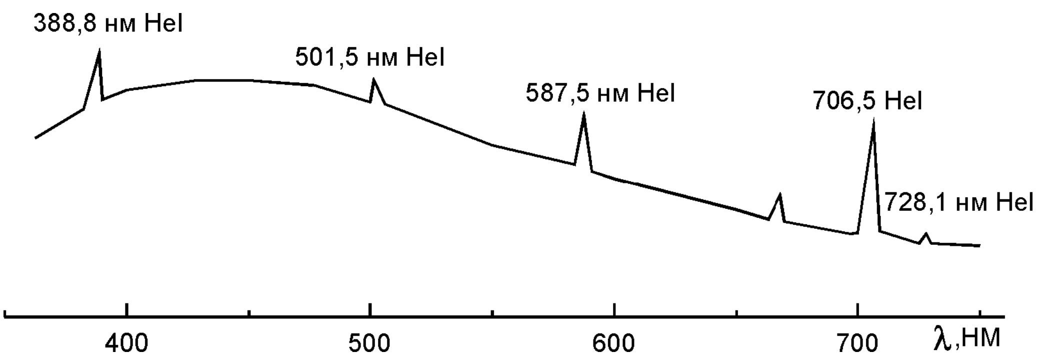

Рис. 4. Спектр випромінювання від'ємного КР на He при P=300 кПа в системі електродів з двома рядами голок при I=3 мА.

IV. СПЕКТРАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАЗМИ КР

Спектри випромінювання КР в He для систем електродів з одним і двома рядами голок наведено на рис. 3, 4. Спектри випромінювання на рисунках подані без урахування спектральної чутливости системи реєстрації. У спектрах випромінювання КР в системі електродів з одним рядом при підвищених тисках He ($P \geq 300$ кПа) реєстрували лише неперервне випромінювання плазми в області 200…800 нм з широким максимумом при 400…500 нм. Зниження тиску гелію до 50…150 кПа приводило до повного зникнення неперервного випромінювання і появи в спектрах ліній HeI з енергетичних станів $n = 3,\ 4$. Смуги випромінювання йонів та димерів гелію в спектрах КР відсутні. Для КР в системі електродів з двома рядами голок відбір випромінювання плазми проводили з области перекриття ділянок плазми, які ґенерувались від різних рядів з голками, тому в спектрах КР і при високих тисках спостерігали лінії випромінювання атомів HeI ($n = 3,\ 4$) на фоні неперервного випромінювання (рис. 4).

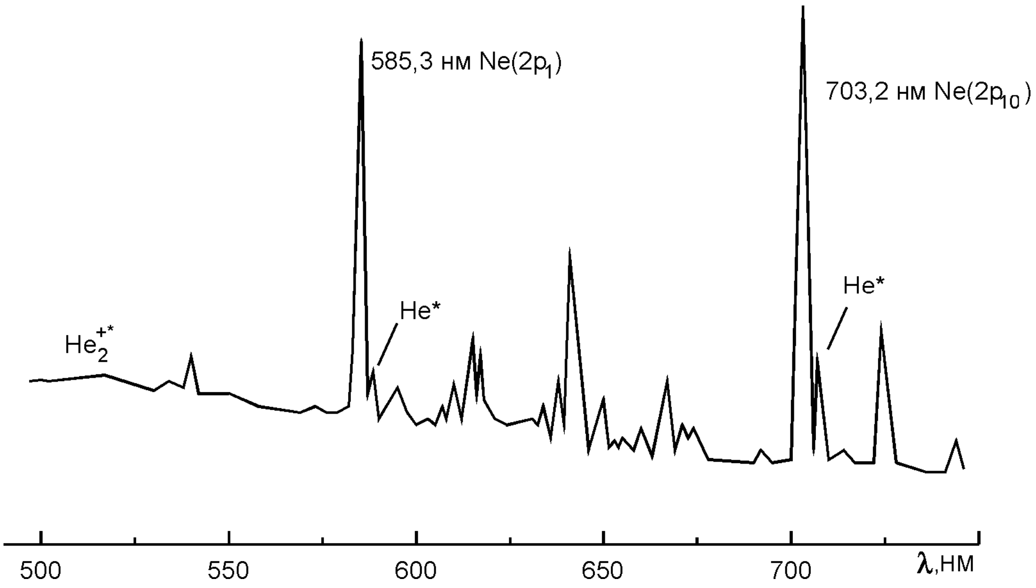

Рис. 5. Спектр випромінювання КР в суміші інертних газів: He/Ne=300/3 кПа.

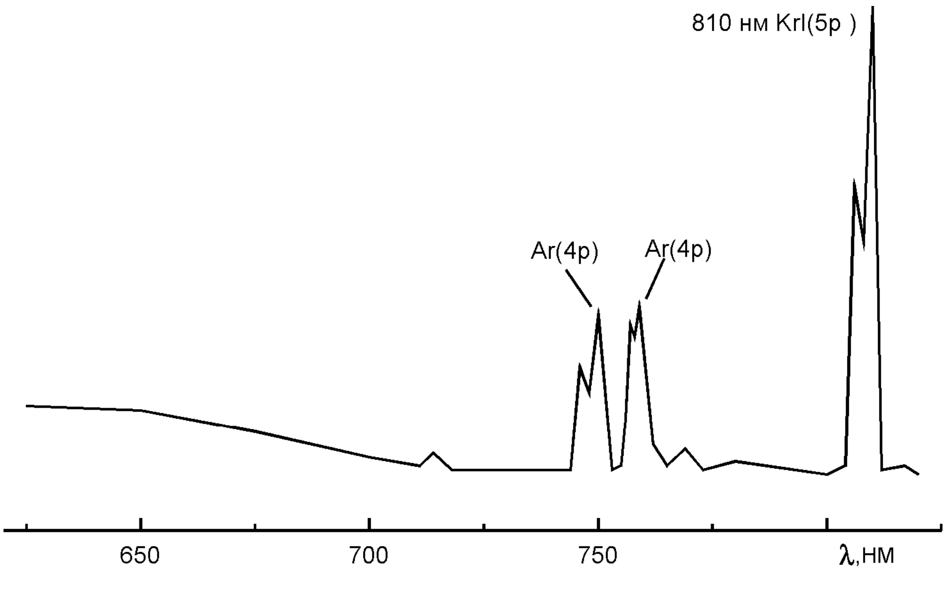

Рис. 6. Спектр випромінювання КР в суміші інертних газів: He/Ar/Kr=300/16/1.6 кПа.

Неперервне випромінювання низькотемпературної плазми високого тиску може бути ототожнено з переходами He_2^+ (C–A) [18], де основними механізмами утворення збуджених йонів He_2^+ (C) виступають реакції взаємодії йонів He^+ з атомами $He(2^3P)$ [19]. У гелієвих лампах високого тиску це неперервне випромінювання He_2^+ (C–A) спостерігалось при високих температурах (в імпульсі $T \geq 4000$ К) і мало максимум при 200 нм. При кімнатних температурах ($T \sim 300$ К) максимум цього випромінювання зміщується в область 400...500 нм [18], що добре узгоджується з результатами нашого експерименту.

Атоми He в збуджених станах у плазмі КР можуть утворюватись у процесі дисоціятивної рекомбінації (ДР) [20, 21] або при ступінчастому збудженні (СЗ) метастабільних атомів електронами [22]. Особливістю процесу ДР йонів He_2^+ є необхідність в їх коливному збудженні [21]. Порівняння відносних інтенсивностей ліній випромінювання HeI, одержаних з урахуванням спектральної чутливости системи МДР–2 та ФЭУ–106, з величинами ефективних перерізів СЗ цих ліній HeI [22] показало, що воно не відповідає розподілові перерізів СЗ. Тому ймовірнішим в умовах цього експерименту є утворення збуджених атомів He ($n = 3,\ 4$) в реакції ДР.

Відсутність ліній випромінювання HeI (при $P \geq 300$ кПа) в КР з системою електродів (СЕ) з одним рядом голок зумовлена високою швидкістю коливної релаксації йонів He_2^+ (і відповідно відсутністю в плазмі йонів He_2^+ ($v \geq 3$)) та переважанням реакцій утворення He_2^+(C) над реакціями ДР. Наявність ліній випромінювання атомів He ($n = 3,\ 4$) з области перекриття плазми від двох рядів голок може бути пов'язана зі ступінчастим збудженням He(m) і He_2^+ ($v \geq 3$) електронами розряду.

Відсутність у спектрах випромінювання плазми КР димерних смуг He_2^* пов'язана зі сильною залежністю інтенсивности випромінювання димерів гелію від температури електронів $J_m \sim T_e^{-1.5}$, а для ліній випромінювання HeI* ця залежність слабша $J_a \sim T_e^{-0.5}$ [20]. Звідси випливає, що в зовнішній області цього КР на гелії $T_e > 300$ К, що і приводить до заборони процесу ДР по молекулярному каналу.

Найхарактерніші спектри випромінювання КР в подвійних та потрійних сумішах інертних газів наведено на рис. 5–7. Основними лініями випромінювання КР в сумішах He/R були лінії на переходах Ne($3s$–$3p$), Ar($4s$–$4p$), Kr($5s$–$5p$) і Xe($6s$–$6p$).

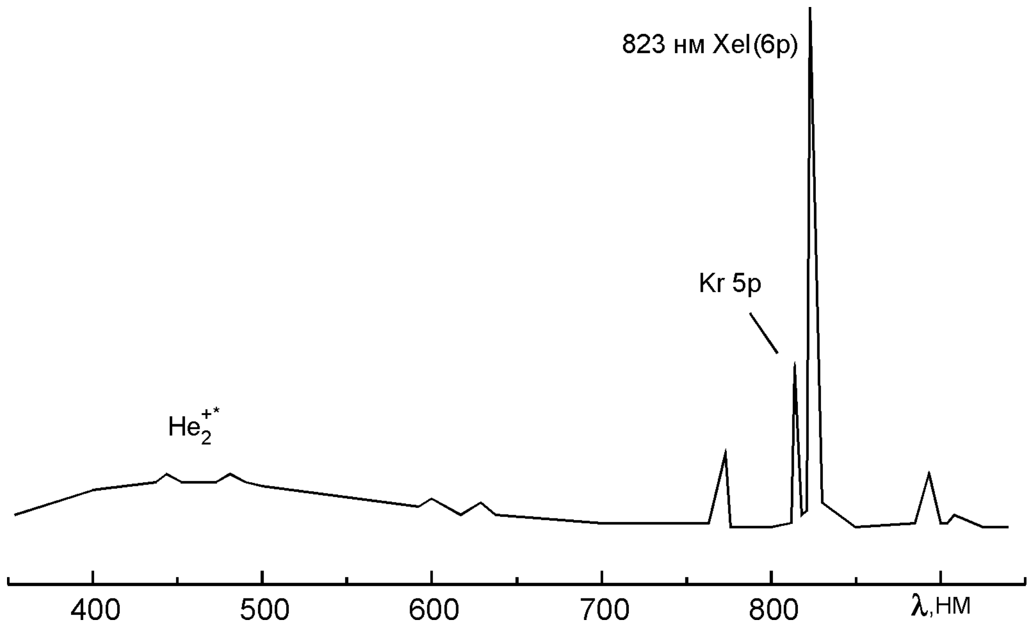

Рис. 7. Спектр випромінювання КР в суміші інертних газів: He/Kr/Xe=300/8/0.8 кПа при I=1 мА.

Порівняння розподілу потоків квантів на переходах Ne($3s$–$3p$) у плазмі КР на суміші He/Ne=300/3 кПа з подібним розподілом фотонів у плазмі післясвічення малопотужного імпульсного розряду в суміші He/Ne (при $P \leq 30$ кПа) [23] показало, що вони добре відповідають одне одному. Така кореляція та відсутність інтенсивних ліній випромінювання з більш високолежачих станів NeI ($4d$, $5d$ та інших) вказують на рекомбінаційний характер заселення $3p$ станів атомів неону в умовах нашого експерименту. Заселення $3p$ станів NeI в реакціях ДР (у плазмі КР на суміші He/Ne високого тиску) може бути використано для одержання стаціонарної інверсії при успішному вирішенні питання розселення $3s$ станів NeI [24]. Спектри випромінювання КР у подвійних сумішах He з атомами Ar, Kr і Xe мають загальні властивості: у короткохвильовій частині спектрів спостерігаємо лише неперервне випромінювання йонів He_2^+ (C–A) (200…400 нм) і слабкі лінії видимого діяпазону Ar($4s$–$5p$), Kr($5s$–$6p$) та Xe($6s$–$7p$), а в близькій інфрачервоній (ІЧ) області спостерігали інтенсивні лінії на переходах Ar($4s$–$4p$), Kr($5s$–$5p$), Xe($6s$–$6p$). При зниженні тиску газових сумішей ($P \leq$ 150 кПа) інтенсивність неперервного випромінювання різко зменшувалась, а в спектрах залишалось лише випромінювання на переходах атомів важких інертних газів.

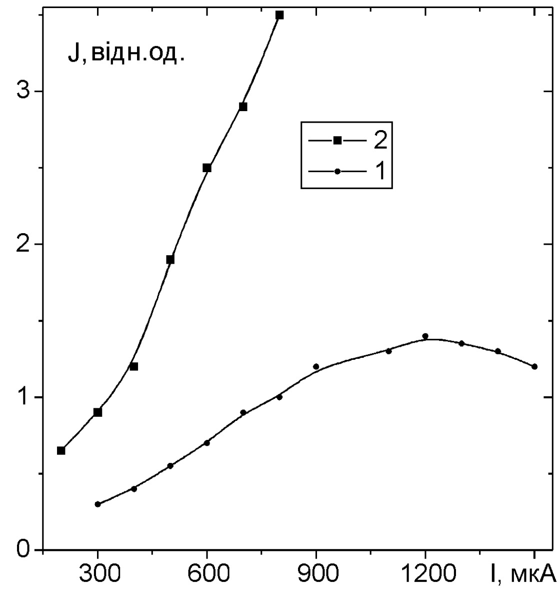

Рис. 8. Залежності відносної інтенсивности випромінювання лінії 703.2 нм Ne($3s$–$3p$) від струму КР в подвійних сумішах: 1 — He/Ne = 150/1 кПа; 2 — He/Ne = 300/2.8 кПа.

Форма ліній випромінювання атомів R сильно залежала від величини струму КР і тиску сумішей He/R. При невеликих розрядних струмах спостерігали розщеплення і зміщення в довгохвильову область для найінтенсивніших ліній випромінювання атомів Ar, Kr, Xe. Така поведінка форми ліній випромінювання атомів R зумовлена дією електричних полів самої плазми, тому що розщеплення ліній випромінювання R найбільшою мірою проявлялось при порогових напругах на голках КР, коли напруженість внутрішнього електричного поля максимальна [25]. Іншою причиною може бути доплерівсьський ефект на "швидких" атомах R, які виносять надлишкову енергію реакції ДР [20].

Розгляд розподілу відносних потоків і констант швидкости СЗ атома ксенону [26, 27] показав, що вони добре корелюють між собою. При цьому найінтенсивнішим лініям випромінювання (823 нм і 882 нм XeI) відповідають максимальні коефіцієнти ДР [28] і ефективні перерізи СЗ [29]. Аналогічну картину спостерігали і для ліній випромінювання на переходах Kr($5s$–$5p$). Порівняння розподілу потоків на переходах Ar($4s$–$4p$) у КР на суміші He/Ar з розподілом констант швидкостей СЗ Ar($4p$) [3] показало їхню повну невідповідність одно одному. У цьому випадку характернішою була кореляція з перерізами прямого електронного збудження атомів Ar [31], що відповідало і механізмові заселення Ar($4p$) (прямий електронний удар) у лазері на 750 нм ArI з накачуванням поперечним розрядом [32].

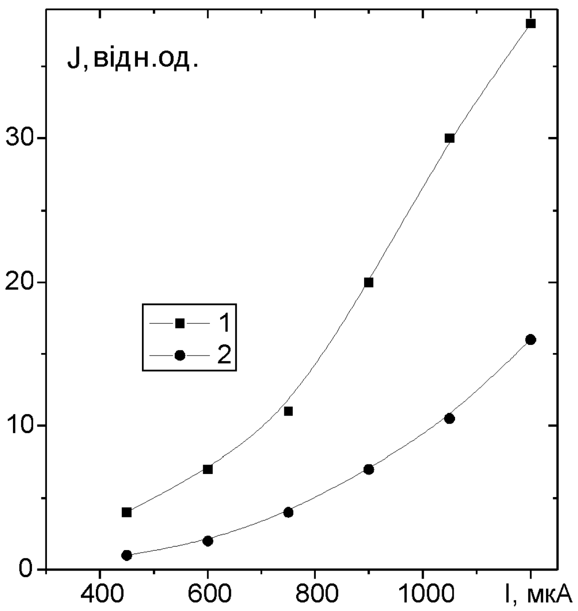

Рис. 9. Залежності відносної інтенсивности випромінювання лінії 823 нм Xe($6s$–$6p$) від струму КР в подвійних сумішах: 1 — He/Xe = 150/4 кПа, 2 — He/Xe = 300/4 кПа.

У спектрах випромінювання плазми КР в суміші He/Ar/Xe лінії на переходах Ar($4s$–$4p$) не спостерігали, а сам спектр був подібним до спектра КР на суміші He/Xe. Причиною цього є пролв ефективної передачі енергії від атомів Ar(m) атомам ксенону при умовах стаціонарного збудження, на відміну від плазми на сумішах He/Ar/Kr і He/Kr/Xe, де одночасно наявні лінії випромінювання двох атомів важких інертних газів (рис. 6, 7).

V. ІНТЕНСИВНОСТІ ВИПРОМІНЮВАННЯ ЛІНІЙ R^*

На рис. 8–10 показано залежності відносних інтенсивностей випромінювання на переходах атомів Ne, Ar, Kr, Xe від струму КР, тиску та складу газових сумішей.

Усі залежності інтенсивности випромінювання від струму КР мають зростаючий характер. Збільшення вмісту Ne в суміші He/Ne з 3 до 30 кПа приводило до зростання інтенсивности ліній на переходах Ne($3s$–$3p$) у 3...5 разів. Залежності інтенсивности лінії 703.2 нм NeI від вмісту атомів неону та суміші He/Ne корелювались з відповідними залежностями, одержаними в післясвіченні малопотужного імпульсного розряду при умовах переважання реакції ДР [23]. Із характеру цих залежностей випливає, що в умовах КР "підзаселення" рівнів $2p_{10}$ NeI (у процесах зіткнень) за рахунок міжмультиплетних переходів $2p_1 - 2p_{10}$ ефективніше, ніж гасіння рівня $2p_{10}$ NeI атомами He або Ne.

Для атомів Ar, Kr і Xe характер залежности інтенсивности ліній випромінювання від струму КР і тиску суміші показаний на прикладі плазми КР в суміші He/Xe(рис. 9).

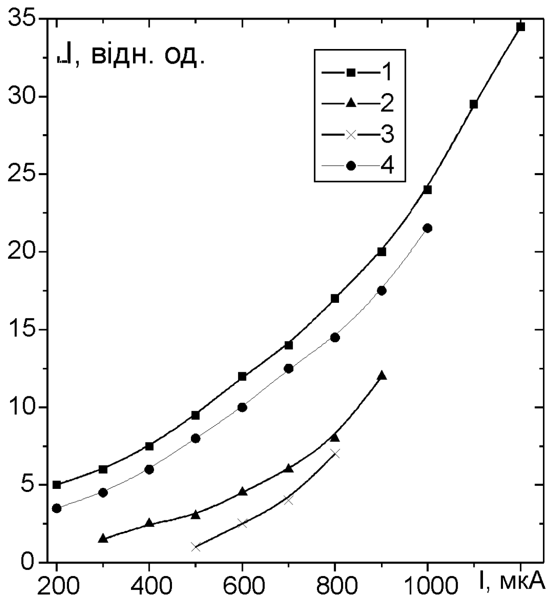

Рис. 10. Залежності відносної інтенсивности випромінювання лінії 882 нм XeI від величини струму КР в потрійних сумішах: 1 — He/Kr/Xe = 300/8/0.8 кПа; 2 — He/Kr/Xe = 150/4/0.4 кПа; 3 — He/Ar/Xe = 300/16/1.6 кПа; 4 — He/Ar/Xe = 150/8/0.8 кПа.

Залежності інтенсивности випромінювання ліній 823 нм XeI від струму КР були близькими до квадратичних. При підвищенні тиску He в суміші інтенсивність випромінювання на переходах Xe ($6s$–$6p$, $7p$) значно зменшувалась. При зниженні тиску суміші He/Xe в області струмів КР $I \geq 750$ мкА спостерігали перехід квадратичної залежности інтенсивности від струму в лінійну, що можливо при зміні СЗ прямим електронним ударом. Найімовірнішими процесами заселення np станів атомів Ar, Kr і Xe в КР можуть бути процеси дисоціятивної рекомбінації, ступінчастого і прямого збудження електронами. Переважання якогось із цих процесів залежить від величини температури електронів (T_e) у плазмі. За даними [26, 27], при $T_e \leq 0.1$ еВ домінує ДР йонів R_2^+ з електронами, при $0.3 \leq T_e \leq 0.8$ еВ — ступінчасте, а при $T_e \leq 0.8$ еВ — пряме збудження електронами.

З одержаних залежностей видно, що в КР на суміші He/Ne реалізується заселення $3p$ станів NeI у результаті ДР, а для сумішей He/Ar(Kr,Xe) імовірнішою є комбінація ступінчастого і прямого заселення np станів атомів важких інертних газів. Крім цього, у КР відсутнє контраґування при високих тисках He, а сам розряд є досить однорідним і може бути реалізованим в об'ємах 10...100 см^3. При підвищенні тиску He в суміші He/R проявляється розселення p–станів атомів R гелієм. Ці фактори можуть бути використані для розробок простих лазерів високого тиску на d–p і p–s переходах атомів важких інертних газів з накачуванням КР. Ці лазери характеризуються невеликими порогами збудження ґенерації — 0.02 Вт/см^3 [3], а в наших експериментах досягнуто питомого вкладу потужности накачування в плазму на рівні ~1 Вт/см^3 при об'ємі плазми КР~ 10 см^3. При оптимізації розрядного пристрою з КР і застосуванні оптичного резонатора можливе одержання ґенерації в ІЧ області спектра на d–p переходах R.

На рис. 10 наведено залежності інтенсивности випромінювання лінії 882 нм XeI від струму КР, тиску і складу сумішей He/Kr/Xe та He/Ar/Xe. У плазмі на суміші He/Kr/Xe інтенсивність випромінювання на переходах Xe($6s$–$6p$) більша при високих тисках суміші. Для цього середовища характерним є прояв ДР гетероядерних йонів KrXe$^+$ з електронами [33, 34]. У плазмі на суміші He/Ar/Xe, як і на суміші He/R, при підвищенні тиску He переважає гасіння $6p$ станів XeI атомами He.

Аналогічні залежності інтенсивности випромінювання від струму та складу сумішей He/Ar/Kr та He/Kr/Xe спостерігали також для лінії 810 нм Kr($5s$–$5p$).

VI. ВИСНОВКИ

Дослідження характеристик низькотемпературної плазми високого тиску на основі інертних газів у від'ємному коронному розряді показало, що в He і сумішах He з атомами Ne, Ar, Kr і Xe запалюється самостійний розряд з досить високою просторовою однорідністю, який можна застосовувати в системах УФ передйонізації і для накачування лазерів на атомах інертних газів; у спектрах випромінювання розряду зареєстровано неперервне випромінювання йонів He$_2^+$ (C–A) в області 200...800 нм та інтенсивних ліній на переходах атомів $R(ns$–$np)$ (n = 3, 4, 5, 6 для Ne, Ar, Kr та Xe); дослідження розподілу фотонів на s–p переходах інертних газів показало, що найбільш імовірними механізмами заселення np станів є дисоціятивна рекомбінація (He, Ne), ступінчасте і пряме збудження (Ar, Kr, Xe).

[1] Н. Г. Басов, В. А. Данилычев, Усп. физ. наук **148**, 55 (1986).
[2] В. И. Держиев, В. Ф. Тарасенко, С. И. Яковленко, А. М. Янчарина, Труды Инст. Общей Физики АН СССР **21**, 5 (1989).
[3] О. В. Середа, В. Ф. Тарасенко, А. Ю. Феденев и др., Квант. электрон. **20**, 535 (1993).
[4] Г. Г. Байцур, В. В. Кралин, К. Н. Фирсов, Квант. электрон. **17**, 1546 (1990).
[5] А. К. Шуаибов, Л. Л. Шимон, И. В. Шевера, Физ. плазмы **22**, 739 (1996).
[6] И. П. Верещагин, *Коронный разряд в апаратах электронно–ионной технологии* (Энергоатомиздат, Москва, 1985).
[7] А. И. Баранов, К. В. Гурков, М. И. Ломаев и др., Приборы техн. эксп. № 4, 108 (1994).
[8] Н. А. Капцов, *Электрические явления в газах и вакууме* (Гостехиздат, Москва, 1950).
[9] А. К. Шуаибов, Л. Л. Шимон, И. В. Шевера, Квант. электрон. **24**, 20 (1997).
[10] А. К. Шуаибов, И. В. Шевера, Журн. прикладной спектроскоп. **64**, 246 (1997).
[11] Н. С. Руденко, В. И. Сметанин, Журн. эксп. теор. физ. **61**, 146 (1971).
[12] В. Д. Песков, Журн. тех. физ. **45**, 2544 (1975).
[13] A. A. Belevtsev, L. M. Biberman, Beitr. Plasmaphys. **23**, 313 (1983).
[14] А. А. Белевцев, у *Тезисы докладов IV Всесоюзной конференции по физике газового разряда* (ДГУ, Махачкала, 1988), с. 15.
[15] B. L. Henson, J. Appl. Phys. **52**, 709 (1981).
[16] N. J. Mason, W. R. Newel, J. Phys. B **20**, 1357 (1987).
[17] А. И. Коротков, Л. К. Митрюхин, Н. И. Петров и др., Опт. спектроскоп. **64**, 294 (1988).
[18] P. C. Hill, Phys. Rev. A **43**, 2546 (1991).
[19] P. C. Hill, P. R. Herman, Phys. Rev. A **47**, 4837 (1993).
[20] В. А. Иванов, Н. П. Пенкин, Журн. прикладной спектроскоп. **40**, 5 (1984).
[21] В. А. Иванов, Ю. Э. Скобло, Опт. спектроскоп. **65**, 750 (1989).
[22] А. А. Митюрева, Н. П. Пенкин, Опт. спектроскоп. **66**, 1220 (1989).
[23] В. А. Иванов, Опт. спектроскоп. **70**, 967 (1991).
[24] А. Ю. Александров, В. А. Долгих, И. Г. Рудой, А. К. Сорока, Квант. электрон. **18**, 1029 (1991).
[25] Л. В. Горчаков, В. П. Демкин, И. И. Муравьев, А. И. Янчарина, *Излучение атомов инертных газов в электрическом поле* (ТГУ, Томск, 1984).
[26] Н. Б. Колоколов, А. А. Кудрявцев, А. Г. Никитин, В. А. Романенко, Опт. спектроскоп. **67**, 766 (1989).
[27] Н. Б. Колоколов, А. А. Кудрявцев, А. К. Никитин, Опт. спектроскоп. **71**, 235 (1991).
[28] В. А. Иванов, Хим. физ. **9**, 1454 (1990).
[29] А. А. Митюрева, В. В. Смирнов, Опт. спектроскоп. **74**, 12 (1993); **75**, 705 (1993).
[30] И. Ю. Баранов, Н. Б. Колоколов, Н. П. Пенкин, Опт. спектроскоп. **58**, 268 (1985).
[31] П. В. Фельцан, И. П. Запесочный, Укр. физ. журн. **12**, 633 (1967); **12**, 1425 (1967).
[32] М. И. Ломаев, В. Ф. Тарасенко, Квант. электрон. **15**, 1978 (1988).
[33] В. А. Иванов, Усп. физ. наук. **162**, 35 (1992).
[34] J. D. Cook, P. K. Leicher, Phys. Rev. A **43**, 1614 (1990).

ELECTRIC AND OPTICAL CHARACTERISTICS OF A DENSE LOWTEMPERATURE PLASMA OF THE RARE GASES, RECEIVED IN SPATIALY INHOMOGENEOUS ELECTRIC FIELD

A. K. Shuaibov, L. L. Shimon, A. I. Dashchenko, I. V. Shevera, A. I. Minja
Uzhgorod State University
46 Pidgirna Str., Uzhgorod, UA–294000, Ukraine

The investigation of electric and optical characteristics of negative coronar discharge (CD), received in electrode systems “needles–grid” was carried out. The coronar discharde was firing in the Helium and mixtures He/R, He/Ar(Kr)/R, where (R — Ne, Ar, Kr, Xe) was under the pressure of 50…350 kPa and mixture compositions typical for the lasers of high pressure on rare gases.

The bipolar CD in the given gas media can be used in the systems of UV–lasers preionisation on p–s and d–p transitions of Ar, Kr, Xe atoms and lasers on the transitions Ne($3p$–$3s$). In Helium and mixtures He/R in an outward zone bipolar CD, a stable discharge with a rather high spase homogenity was received. The volt–amper characteristics, the spectral radiation and the dependence of radioation intensivity of lines of rare gases atoms on the discharge parameter. The fundamental process of population and depopulation p–s state atoms of rare gases in the given plasma has been suggested in this article.