

УДК 543.068.52

## Полум'яно-іонізаційний пристрій для екологічного аналізу

Піньківський О.С., к.т.н., доц. Кузьмичев А.І.

Теперішній час характеризується проблемами екологічного характеру, тому потрібно виявляти шкідливі речовини у навколишньому середовищі та вимірювати їх концентрації. У зв'язку з цим перспективним напрямком сучасної електроніки є створення відповідних аналітичних приладів. [1-5]

Цілью нашої роботи є розгляд можливостей полум'яно-іонізаційних ефектів для створення пристрою аналітичного призначення.

### 1. Властивості полум'я як елемента аналітичної апаратури.

Полум'я — газоподібне середовище, що включає в себе (у ряді випадків) дисперговані конденсовані продукти, в якому відбуваються фізико-хімічні перетворення реагентів, що приводять до світіння, тепловиділення і саморозігріву. Концентрація заряджених частинок може бути настільки великою, що полум'я здобуває властивості плазми. Газоподібне середовище полум'я містить заряджені частинки (іони, радикали), що обумовлює наявність електропровідності полум'я і його взаємодії з електромагнітними полями

Тому полум'я займає певне місце в плазмових системах. Діаграма на Рис. 1 представляє значення щільності

плазми та енергії часток для різних систем.

З діаграми видно, що полум'я має такі характеристики – енергія його частинок складає 1eV та має щільність  $10^{15}$  частинок/м<sup>3</sup>.

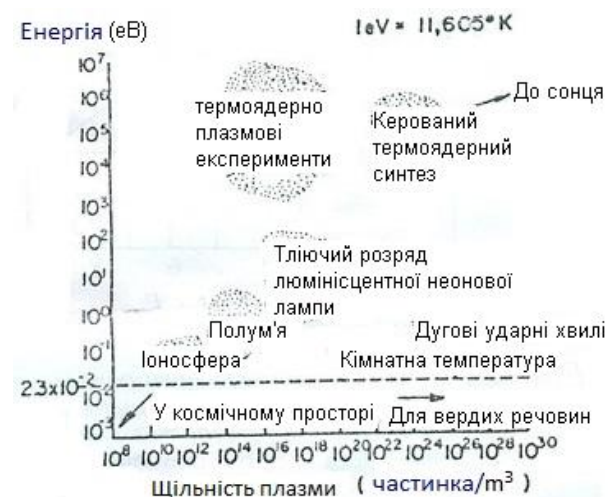


Рис. 1. Щільність плазми від енергії часток (електронів) для різних плазмових систем.

На Рис. 2 зображена поведінка температури електронів та іонів при підвищенні тиску до атмосферного та вище. Оскільки полум'я існує при атмосферному тиску (760 Торр) ми маємо рівноважну плазму, де температура електронів та іонів приблизно рівна.

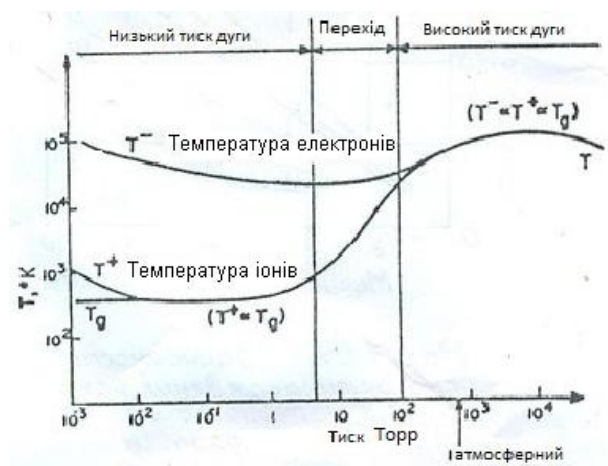


Рис. 2. Відношення температури іонів і електронів до тиску газу в плазмі.

Плазму полум'я описують рівнянням Саха:

$$\frac{n_e n_z}{n_{z-1}} = \frac{2Q_z(T)}{Q_{z-1}(T)} \left( \frac{mkT}{2\pi\hbar} \right)^{\frac{3}{2}} \times \exp\left( -\frac{\varepsilon_{\text{іон},z-1} - \Delta\varepsilon_{\text{іон},z-1}}{kT} \right)$$

де  $\varepsilon_{\text{іон},z-1}$  – енергія (z-1) ступеня іонізації для ізольованих систем;  $\Delta\varepsilon_{\text{іон},z-1}$  – зменшення енергії іонізації обумовлена взаємодією в плазмі.

Розрізняють два види полум'я: 1) полум'я, в котрих горючий газ попередньо змішується з газом-окисником, і суміш витікає із сопла пальника; 2) полум'я, у яких горіння палива відбувається за рахунок дифузії кисню з навколишньої атмосфери (дифузійне полум'я). Слід мати на увазі, що такий розподіл умовний. Якщо швидкості горіння відносно високі, то використовують полум'я другого виду, в протилежному випадку – першого.

## 2. Різновиди полум'яних аналітичних пристроїв

### 2.1. Оптична атомно-абсорбційна спектроскопія

Атомно-абсорбційна спектроскопія – поширений метод в аналітичній хімії кількісного елементного аналізу за допомогою атомним спектрам поглинання (абсорбції) зондуючого випромінювання для визначення складу речовин які входять до складу полум'яного середовища.

Атомно-абсорбційний спектральний аналіз відносять до найбільш важливих та ефективних методів дослідження неорганічних з'єднань, особливо при визначенні слідів речовин.

Полум'яну атомно-абсорбційну спектроскопію відносять до досить ефективних і швидких методів. Завдання полум'я заключається в тому, щоб отримати речовину яка аналізується, в атомізованому стану. Стійке горіння полум'я можливо лише при умові, що швидкість потоку газової суміші буде рівна швидкості його згорання. Тому у випадку швидкого згорання сумішей газів доводиться працювати з високими швидкостями потоку і тут ми можемо говорити про два різні види полум'я, які різняться своєю температурою:

1. Полум'я суміші повітря та ацетилену.
2. Полум'я суміші оксид азоту та ацетилену.

Також в залежності від випадку можуть використовуватися полум'я

суміші: метан та повітря, водень та кисень.

## 2.2. Оптична атомно-емісійна спектрометрія.

Атомно-емісійна спектрометрія чи атомно-емісійний спектральний аналіз являє собою сукупність методів елементного аналізу, заснованих на дослідженні спектрів випромінювання вільними атомами та іонами у газовій фазі.

Атомно-емісійні спектри дуже багаті лініями. Це призводить до того, що для визначення одного елементу пропонується велике число ліній, та спектральні перешкоди при цьому стають одною з головних проблем оптичної емісійної спектрометрії. Селективність по елементам при атомно-емісійній спектрометрії визначається виключно високою роздільною здатністю спектрометричного приладу.

## 2.3. Полум'яно-іонізаційне детектування

Принцип роботи полум'яно-іонізаційного детектора (Рис. 3). полягає в тому, що при звичайних умовах газу не проводять електричний струм, але якщо в результаті якогось впливу в газі утворюються іони або вільні електрони, то навіть при дуже невеликій концентрації цих частинок газу стають провідниками електричного струму.

До потенційному електроду додається напруга для збору іонів, а з колекторного електрода знімається сигнал детектора.

У полум'ї чистого водню число іонів дуже мало, опір міжелектродного простору дуже великий ( $10^{14} - 10^{15}$  Ом) і струм детектора дуже малий ( $10^{-12} - 10^{-11}$  А). Цей струм виникає за рахунок іонізації домішок, що містяться в газі-носії, водні та повітрі, і є постійним фоновим струмом детектора.

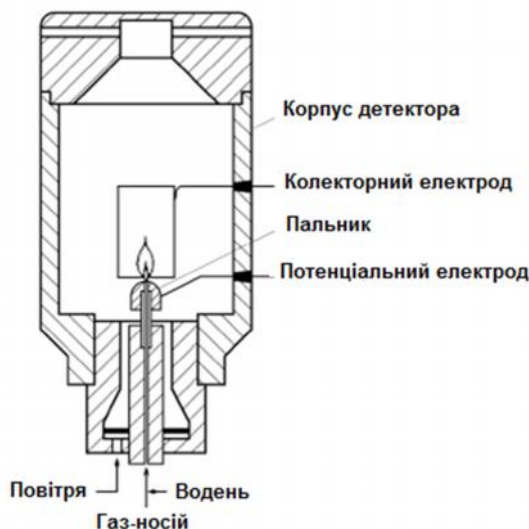
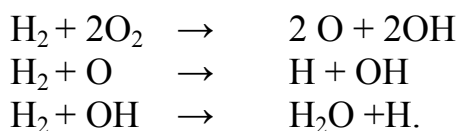


Рис. 3. Схема полум'яно-іонізаційного детектору.

При горінні чистого водню в полум'яно-іонізаційному детекторі протікають наступні процеси, що призводять до утворення ряду елементарних частинок:



Продукти цих процесів відносяться з камери детектора надлишком повітря.

Полум'яно-іонізаційний детектор не дає показань для наступного ряду сполук:  $\text{COS}$ ,  $\text{CS}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SiCl}_4$ ,  $\text{SiHCl}_3$ ,  $\text{SiF}_4$ . У

разі присутності в аналізованій пробі зазначених з'єднань чутливість детектора до інших сполук не змінюється.

Полум'яно-іонізаційний детектор має як ряд переваг так і ряд недоліків.

Переваги:

- лінійний діапазон детектування  $10^7$ ;
- висока швидкодія;
- невеликий об'єм робочої камери;
- діапазон робочих температур до  $400^\circ\text{C}$  та вище;
- можливість використання дешевого газу-носія (азот);
- порівняно низька вартість детектора.

Недоліки:

- нечутливість до ряду з'єднань;
- деструктивність проби (руйнує пробу);
- вибухонебезпечність (якщо водень);
- необхідність в електрометричного підсилювачі;
- нелеткі продукти згоряння ( $\text{SiO}_2$ ) можуть відкладатися на електродах, порушуючи стабільність роботи.

### 3. Розробка лабораторного пристрою для дослідження полум'яно-іонізаційних явищ.

У лабораторії кафедри був розроблений полум'яно-іонізаційний пристрій, який вимірює струм іонів які генеруються у полум'ї також планується дослідження

синергетичного ефекту. Схема електричного живлення зображена на Рис. 4. Тут трансформатор TV - типу ТА-174-127/220-50. Випрямляючий діод VD - Д1005А.

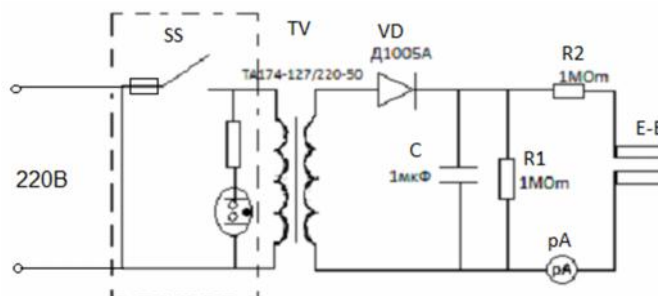


Рис. 4. Схема електричного живлення полум'яно-іонізаційного детектору (E-E – електроди для вимірювання іонного струму).

На Рис. 5 зображений макет полум'яно-іонізаційного пристрою. Були використані спиртовий пальник для створення початкового полум'я та графітові електроди. На одну пару з них ми подаємо напругу (центральні два електроди), а за допомогою двох крайніх (E-E, див. Рис. 4.) ми вимірюємо струм іонів з полум'яного середовища. Якщо у полум'я потрапляє якась стороння легко іонізуюча сполука то крайні електроди реєструють зміну струму іонів, які надходять з полум'я.

Подача напруги на центральні електроди використовується для визначення синергетичного ефекту сумісної взаємодії полум'ї та електро-іонізаційного процесу. Як відомо, електричне поле у полум'ї призводить до появи синергетичного ефекту - значного підсилення іонізації у полум'ї. Таким чином, ми можемо за

допомогою крайніх електродів реєструвати синергетичний ефект при підтримуванні полум'я між середніми електродами на які подається зовнішня напруга. Планується подача на середні електроди напруги постійного та змінного струму низької та високої частоти. А також, електромагнітного поля на частоті 2,45 ГГц.



Рис. 5. Макет полум'яно-іонізаційний детектору.

### Висновки.

Проаналізований інформаційно-літературний матеріали з використання полум'я як елемента аналітичної апаратури екологічного призначення. Показана можливість використання режиму полум'яно-іонізаційного принципу детектування та вимірювання. Сконструйований макет, який пройшов перевірку на

працездатність у лабораторних умовах для проведення досліджень полум'яно-іонізаційного принципу детектування. Планується його використання для проведення як наукових досліджень, так і для демонстрації іонізаційних процесів у полум'ї під час лекцій з курсу Електронно-фотонні методи в екології.

### Література

1. Кузьмичев А.И. «Атомно-спектральный анализ. Выпуск 2» Киев 2000.
2. Котельников И.А. Ступаков Г.В. «Лекции по физике плазмы. Учебное пособие». Новосибирск 1996.
3. Винарский В.А. «Хроматография». Минск 2003.
4. Бёккер Ю. «Спектроскопия» Москва 2009.
5. Семиохи И.А. «Элементарные процессы в низкотемпературной плазме» Москва 1988.