

ВДОСКОНАЛЕНА СПЕКТРОМЕТРИЧНА СХЕМА ІОГАННСОНА ДЛЯ РЕНТГЕНІВСЬОГО ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО АНАЛІЗУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Пропонується підхід для підвищення чутливості засобів для проведення рентгенівського флуоресцентного аналізу, в яких використовується розкладання випромінювання флуоресценції за довжинами хвиль за допомогою схеми Іоганнсона

Ключові слова: рентгенівський флуоресцентний аналіз, схема Іоганнсона

Abstract

An approach is proposed to increase the sensitivity of X-ray fluorescence analysis tools, which uses the decomposition of fluorescence radiation along wavelengths using the Johannson scheme

Key words: X-ray fluorescence analysis, Johannson's scheme

Флуоресцентний аналіз є одним з найдоступніших та зручних методів виявлення та ідентифікації речовин, визначення її кількісного складу. Основою для його застосування є те, що спектр флуоресценції є характерним для даної речовини і не залежить від довжини хвилі збуджуючого світла. Перевагою флуоресцентного аналізу за порівнянням з іншими методами є не лише висока чутливість, а й відносна простота та висока швидкість отримання результатів вимірювання. Відповідно до цього флуоресцентний аналіз знаходить застосування у багатьох сферах [1-3].

Крім флуоресцентного аналізу, що ґрунтується на дослідженні спектрів флуоресценції, збуджуваної ультрафіолетовим, видимим, або інфрачервоним випромінюванням, сьогодні в аналітичній практиці широко використовуються рентгенівська флуоресценція, заснована на збудженні флуоресценції рентгенівськими променями [1].

Важливою особливістю рентгенівського флуоресцентного випромінювання є те, що кожен елемент дає свій спектр незалежно від того, збуджується чи цей елемент у вільному стані або в складі хімічного з'єднання. Крім того, рентгенівські спектри містять меншу кількість ліній за порівнянням з оптичними, що спрощує аналіз і дозволяє визначати близькі за властивостями елементи. За порівнянням з іншими флуоресцентними методами дослідження хімічного складу метод рентгенофлуоресцентного аналізу відрізняється високою точністю та продуктивністю, є достатньою простим та дозволяє визначати хімічний склад матеріалів, які можуть знаходитися у твердому, рідкому або порошкоподібному вигляді. За його допомогою можна визначати майже усі елементи таблиці Менделєєва від берилію до урану при їх вмісті від 0,0001% [4].

При рентгенівському флуоресцентному аналізі для відокремлення окремих складових флуоресцентного випромінювання використовують дифракційні ґратки, роль яких виконують монокристали, що називаються кристал-аналізаторами [5]. Для певної довжини хвилі і певної міжплощинної відстані кристала умова посилення хвиль, що інтерферують, виконується тільки при заданому куті падіння променів, який визначається законом Брегга-Вульфа.

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (1)$$

де λ – довжина хвилі випромінювання, дифракційно відбитого від площини монокристала;

θ – кут падіння випромінювання на площину дорівнює (кут Бреґга);

d – міжплощинна відстань;

$n = 1, 2, \dots$ порядок відбиття (у рентгеноспектральній апаратурі зазвичай використовується тільки перший порядок – $n = 1$, оскільки наступні порядки створюють відбиття, які заважають).

На основі закону Брегга-Вульфа стає можливим, вимірюючи кут θ , визначати довжину хвилі λ

рентгенівського випромінювання при відомій міжплощинній відстані d . Спрямовуючи досліджуваний спектр під різними кутами θ і одночасно вимірюючи інтенсивність відбитого під тим самим кутом випромінювання, можна розкласти спектр за довжинами хвиль.

В ідеалі потрібно забезпечити потрапляння випромінювання на кристал-аналізатор строго під кутом θ у всіх його точках. Для забезпечення виконання цієї умови було запропоновано використовувати неплоскі кристал-аналізатоив. Згинаючи кристал-аналізатор по колу радіуса $2R$, та розміщуючи джерело та детектор на колі радіуса R (фокальна окружність або окружність Роуланда) можна з високою точністю домогтися виконання умови рівності кутів дифракції для різних ділянок кристала. При цьому, оскільки поверхня кристал-аналізатора не лежить на фокальній окружності, спостерігаються дефокусування променів, що відбиваються від країв кристалу. Рішення було знайдено Іоганнсоном. У плоскому кристал-аналізаторі вишліфовує виїмка радіуса $2R$, потім кристал-аналізатор згинається по колу Роуланда (рис. 1).

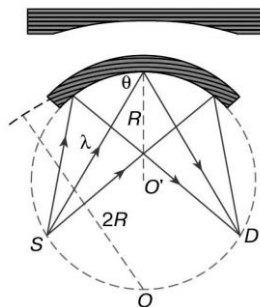


Рисунок 1 – Спектрометрична схема Іоганнсона: S - джерело, D - детектор

В класичній спектрометричній схемі Іоганнсона випромінювання на кристал-аналізатор потрапляє через вхідну щілину. При зміщенні кристал-аналізатора вздовж фокусувального кола Роуланда через те, що орієнтація площини щілини не змінюється, вісь пучка зсувається по площини кристал-аналізатора. У результаті частина променів виходить за межі кристала. З іншого боку, щілина обмежує пучок, а тому не усі промені спрямовуються на кристал-аналізатор.

Збільшення чутливості можна досягти, якщо реалізувати фокусування випромінювання флуоресценції та якщо забезпечити виконання умови, що вісь пучка буде залишатися спрямованою на центр кристала-аналізатора. Фокусування пучка можна реалізувати за допомогою сферичного дзеркала, а зміну спрямованості вісі пучка – за рахунок дзеркального відбивання від поверхні, кут якої може змінюватися (рис. 2).

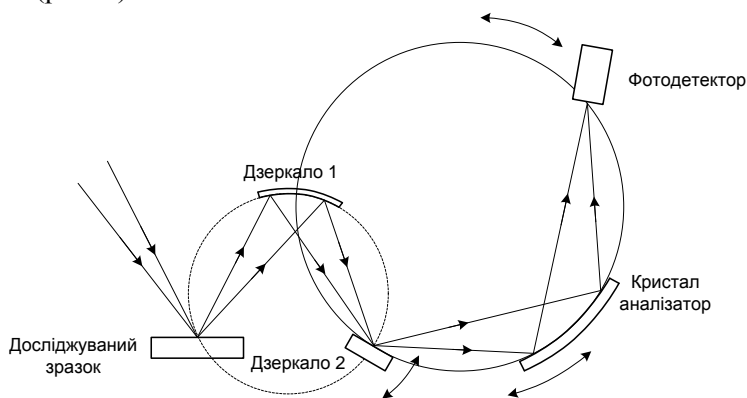


Рисунок 2 – Вдосконалена спектрометрична схема Іоганнсона

За допомогою сферичного дзеркала 1 флуоресцентне випромінювання фокусується на дзеркалі 2. Фокусування досягається за рахунок того, що досліджуваний зразок, дзеркало 1 та дзеркало 2 лежать на одному фокусувальному колі Роуланда радіуса R_1 . За допомогою дзеркала 2 рентгенівське флуоресцентне випромінювання спрямовується на кристал-аналізатор. Дзеркало 2 є рухомим, кут нахилу якого може змінюватися. Завдяки цьому отримується можливість відхилити пучок так, щоб його вісь завжди була спрямована у центр кристал-аналізатора. Дзеркало 1 та кристал-

аналізатор лежать на фокусувальному колі Роуланда радіуса R_2 і утворюють монохроматор Юганнсона.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гришаева Т.И. Методы люминесцентного анализа. Учебное пособие для вузов / Гришаева Т.И.- СПб.: АНО НПО «Профессионал», 2003. — 226 с.
2. Колтовой Н.А. Флуоресценция (люминесценция). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://koltovoi.ru/page/1007996>.
3. Сущность явления люминесценции. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.medical-enc.ru/oborudovanie/luminescence.shtml>.
4. Ширкин Л. А. Рентгенофлуоресцентный анализ объектов окружающей среды: учебное пособие / Л.А. Ширкин – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2009. – 65 с.
5. Дулов Е.Н., Ивойлов Н.Г. Рентгеноспектральный флуоресцентный анализ: Учебно-методическое пособие для студентов физического факультета / Е.Н. Дулов, Н.Г. Ивойлов. – Казань: Издательство Казанского государственного университета, 2008. – 50 с.

Мормітко Олексій Мхайлович – студент групи ЛТО-17м, факультет комп'ютерних систем і автоматики,

Науковий керівник Тарновський Микола Геннадійович, к.т.н., доц. каф. Лазерної а оптикоелектронної техніки

Nosorog-anal@mail.ru