

ЛАЗЕРНОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ НИЗКИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ АТОМОВ УРАНА, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ

В.И.Балыкин, В.С.Летохов, В.И.Мишин, В.А.Семчишен

Исследовалась температурная зависимость концентрации атомов урана методом лазерного возбуждения флуоресценции. Диапазон изменения температуры от 1100 до 1800°С.

1. В данной работе сообщается об экспериментальном наблюдении очень малых количеств атомов урана (10^3 ат/см³ или ~ 10 атомов в регистрируемом объеме) методом возбуждения флуоресценции излучением перестраиваемого лазера на красителе непрерывного действия. С помощью этого метода впервые исследована температурная зависимость концентрации атомов урана, возникающих в результате химической реакции разложения:



и восстановления



в высокотемпературном тигле.

2. В эксперименте в качестве источника возбуждения атомов использовался лазер на красителе непрерывного действия со свободно истекающей струей, собранный по четырехзеркальной схеме [1]. В качестве селектирующих элементов использовались две призмы из тяжелого флинта и эталон Фабри — Перо в виде плоскопараллельной стеклянной пластины. Накачка красителя осуществлялась аргоновым лазером. Длина волны генерации перестраивалась от 5600 до 6200 Å, ширина линии генерации составляла $\approx 2 \cdot 10^{-2}$ Å, мощность излучения лазера на красителе ≈ 5 мвт.

Излучение лазера на красителе направлялось в кювету с парами атомов урана (рис. 1). Источником паров служила вмонтированная в нижнюю часть кюветы печь. Нагревательным элементом печи служила танталовая фольга, свернутая в виде трубки. Внутри нагревательного

элемента помещался тигель из тантала. Тигель представлял собой цилиндр с плотно закрывающейся крышкой, в боковой поверхности которого имелось отверстие диаметром 0,75 мм для выхода продуктов реакции. Нагрев тигля осуществлялся термически: через танталовую фольгу пропускался ток до 300 а при напряжении 5 в. Температура тигля изменялась от комнатной до 2000°С и контролировалась с помощью оптического пирометра. В кювете предусматривалось максимальное устранение рассеянного света лазера накачки и нагревательного элемента печи. Для этого она была зачернена, а вне и внутри кюветы использовались световые экраны и диафрагмы.

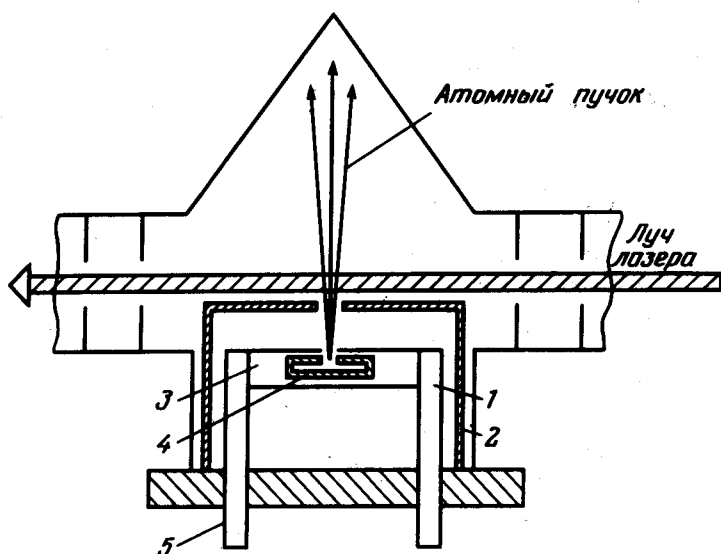


Рис. 1. Кювета с источником паров: 1 – подводящие токопроводы, 2 – тепловой экран, 3 – танталовая фольга, 4 – тигель

В тигель помещался порошок $(\text{NH}_4)_2\text{UF}_6$ и металлический Ва. Кювета откачивалась до давления 10^{-4} тор. При нагревании тигля до 200°С происходит реакция разложения (1), при этом легко летучее соединение $(\text{NH}_4)\text{F}$ испаряется. Реакция восстановления урана (2) проводилась при температуре 1100°С.

Излучение лазера на красителе настраивалось на линию поглощения урана $\lambda = 5915,4\text{Å}$. Регистрация сигнала флуоресценции производилась методом синхронного детектирования. Излучение флуоресценции фокусировалось объективом на щель двойного монохроматора ДМР-4, фотоумножитель ФЭУ-79 помещался непосредственно за выходной щелью монохроматора. Сигнал с фотоумножителя поступал на вход узкополосного усилителя У2-6 и регистрировался синхронным детектором В9-2.

3. В эксперименте исследовалась зависимость концентрации атомов урана как восстановленного в результате химической реакции, так и металлического (в последнем случае в тигель помещался металлический уран). Зависимость концентрации атомов урана от температуры

представлена на рис. 2. На вертикальной оси, слева, отложена концентрация атомов урана в области регистрации, справа концентрация атомов урана в тигле, которая соответствует давлению насыщенных паров [2].

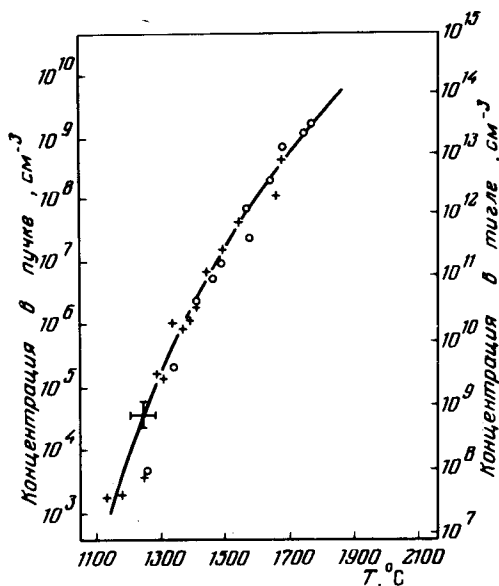


Рис. 2. Зависимость концентрации паров урана от температуры: левая шкала — концентрация атомов в зоне регистрации, правая — в тигле [2]. о — получены с использованием реакции (1), (2). + — с использованием металлического урана

Измерение абсолютной концентрации атомов основывалось на сравнении сигналов флуоресценции атомов урана и релеевского рассеяния в воздухе или аргоне. Использовались следующие численные значения: коэффициент релеевского рассеяния $5 \cdot 10^{-9} \text{ см}^{-1}$ [3], сечение поглощения излучения лазера атомами урана $1,1 \cdot 10^{-13} \text{ см}^2$ [4], квантовый выход флуоресценции $\approx 6 \cdot 10^{-2}$ [5].

Минимально обнаружимая концентрация атомов урана составляет $3 \cdot 10^3 \text{ ат/см}^3$, минимально детектируемое количество атомов в регистрируемом объеме примерно 10 атомов. Порог обнаружения атомов, в наших экспериментах, определялся рассеянным излучением от нагревательного элемента и печи.

Описанный метод получения и регистрации малых концентраций атомов урана пригоден для лазерной спектроскопии микроколичеств трансурановых и сильно радиоактивных элементов, а также для изучения зависимости давления паров этих элементов от температуры [6].

В заключение авторы выражают глубокую благодарность Н.Н.Крот за предоставление соединений урана и обсуждение результатов работы.

Институт спектроскопии
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
21 сентября 1976 г.

Литература

- [1] W.D. Jonson, P.K. Runge. IEEE Quantum Electron, QE-8, 724, 1972.
[2] А.Н.Зайдель, Г.В.Островская, Ю.И.Островский. Техника и практика спектроскопии, М., Изд. Наука, 1976.

- [3] И.П.Фабелинский. Молекулярное рассеяние света, М., Изд. Наука, 1965.
- [4] Отчет Лоуренсовской Ливерморской лаборатории ERDA UCRL 50021-74, 1974.
- [5] Отчет Los -Alamos Scientific Laboratory LA-4501, Los -Alamos, New Mexico, October, 1972.
- [6] W.H.Fairbank, T.W.Hänsch, A.L.Schawlow. JOS A, 65, 199, 1975.
-