

УДК 53.01

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПАРОВ АТОМОВ ГАЛЛИЯ С ПОВЕРХНОСТЬЮ КВАРЦЕВОЙ ЯЧЕЙКИ

А.М. ХАНБЕКЯН<sup>1\*</sup>, А.А. ХАНБЕКЯН<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт физических исследований НАН Армении, Аштарак, Армения

<sup>2</sup>University of Ferrara, Ferrara, Italy

\*e-mail: akhanbekyan@gmail.com

(Поступила в редакцию 30 мая 2018 г.)

Проведено спектроскопическое исследование взаимодействия паров атомов галлия со стенками кварцевой ячейки. Показано, что при высоких температурах (~1080°C) процесс диффузии атомов галлия в стенки ячейки препятствует достижению плотностей паров металла в ячейке, соответствующих табличным значениям для данной температуры. После насыщения стенок атомами металла плотность паров металла в объеме ячейки начинает возрастать.

### 1. Введение

При исследовании атомов и молекул часто используют отпаянные стеклянные, кварцевые и сапфировые ячейки (кюветы), заполненные исследуемым веществом в газообразном состоянии. Отпаянные ячейки с парами металлов ввиду своей простоты и компактности применяются также в оптических магнетометрах, атомных часах, в процессах исследования фундаментальной симметрии, квантовых ячейках памяти и т. д. Для получения необходимой плотности паров металла ячейка нагревается до температуры, при которой пары будут иметь необходимую плотность. Плотность паров можно определить, например, по табличным значениям соответствия температуры и давления [1].

Одна из проблем при использовании таких ячеек заключается в том, что атомы содержащихся в ней паров металла взаимодействуют с внутренними стенками ячейки. При повышении температуры с целью получения необходимой плотности насыщенных паров атомы диффундируют в стенки ячейки. При этом может происходить как химическое взаимодействие атомов металла со стенками ячейки (хемисорбция), так и обратимый процесс адсорбции атомов на поверхности (физисорбция). В результате плотность паров металла в объеме ячейки уменьшается. В работах [2–6] показано, что в новоизготовленной кварцевой

ячейке плотность паров индия меньше табличных значений плотности паров при данной температуре. Плотность паров достигает стационарных значений при поддержании высоких температур ячейки с парами в течение десятков часов, когда достигается насыщение стенок ячейки атомами индия. В работе [7] показано, что атомы паров щелочных металлов также «захватываются» и связываются с молекулами антирелаксационного покрытия стенок ячейки. Атомы паров металла при высоких температурах могут также диффузно проникать в стенки сапфировой ячейки [8]. Таким образом, при использовании отпаянных ячеек для получения паров металла возникает проблема обеспечения соответствия давления паров металла с табличными значениями зависимости давления от температуры паров.

В настоящей работе исследован процесс абсорбции атомов галлия стенками кварцевой ячейки и дальнейший процесс насыщения стенок атомами галлия.

## 2. Диффузия атомов галлия в стенки кварцевой ячейки

Для исследования времени диффузии атомов Ga в стенки ячейки была изготовлена сферическая кварцевая ячейка с насыщенными парами Ga с добавлением буферного газа Ne при давлении 10 торр. В отпаянные ячейки с парами металлов буферный газ добавляют по нескольким причинам. Давление буферного газа выбирается в зависимости от конкретной задачи. В частности, частые столкновения атомов металла с молекулами буферного газа с относительно низким давлением увеличивают интервал времени между столкновениями атомов металла со стенками ячейки [9], не приводя к уширению спектральных линий.

В настоящей работе с целью уменьшения покрытия внутренних стенок металлической пленкой галлия ячейка была заполнена также буферным газом неоном при давлении 10 Торр. Ячейка возбуждалась излучением ксеноновой лампы высокого давления, которая излучала почти сплошной спектр в области длин волн 400–500 нм. Спектр флюоресценции сферической ячейки при возбуждении излучением ксеноновой лампы регистрировался фотоумножителем, установленным на выходе монохроматора Jobin 1000 (FHR 1000). Регистрация осуществлялась в перпендикулярном направлении относительно направления возбуждения.

На рис.1 приведены зарегистрированные спектры флюоресценции в коротковолновой области спектра при возбуждении излучением сплошным спектром ксеноновой лампы. Вначале эксперимента вместо кварцевой сферической ячейки была установлена кварцевая пластинка, и рассеянный спектр от кварцевой пластины приведен на рисунке (кривая 1). Кривая 2 представляет спектр

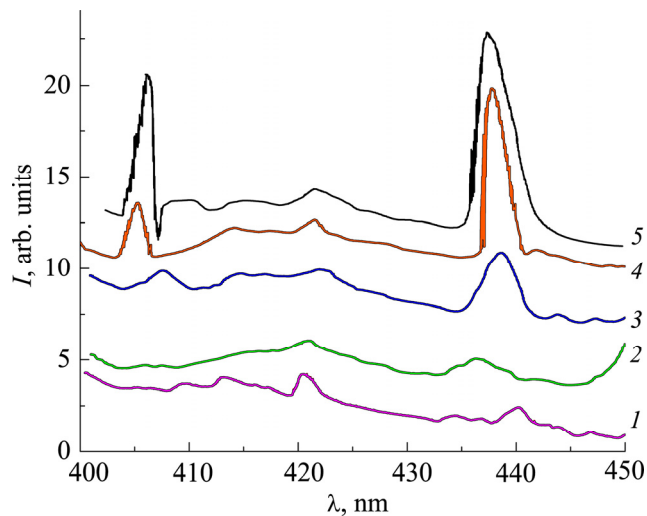


Рис.1. Спектры флюоресценции сферической ячейки с парами Ga (2–5) при возбуждении излучением ксеноновой лампы и спектр излучения ксеноновой лампы (1), отраженного от кварцевой пластины.

новоизготовленной сферической ячейки с парами Ga без буферного газа. Новоизготовленная ячейка с парами Ga, содержащая 10 торр буферного газа имеет спектр, существенно отличающийся от предыдущего случая (кривая 3). Далее сферическая ячейка с парами Ga выдерживалась в печи около 20 часов при температуре 1080°C и снова производилась регистрация спектра флюоресценции. При этом возникали интенсивные спектральные линии излучения на длинах волн  $\lambda = 406$  нм и  $\lambda = 437.5$  нм (кривая 4). При дополнительном выдерживании ячейки в течение 20 часов при температуре 1080°C интенсивность данных линий возрастала (кривая 5).

Линии флюоресценции на длинах волн  $\lambda = 406$  нм и  $\lambda = 437.5$  нм не являются непосредственными спектральными линиями излучения атомов Ga. Атомы галлия, проникая в стенки ячейки и взаимодействуя со стенками ( $\text{SiO}_2$ ), образуют центры окраски [9], которые при возбуждении излучением ксеноновой лампы флюоресцируют на длинах волн  $\lambda = 406$  нм и  $\lambda = 437.5$  нм.

### 3. Плотность паров галлия в процессе диффузии атомов в стенки ячейки

Значения плотности паров в зависимости от температуры, полученные в работах [1,10], отличаются друг от друга (рис.2, кривые 1 и 2).

С целью корректировки величины плотности паров при данной температуре, а также определения влияния процесса диффузии атомов в стенки на величину плотности паров металла в объеме ячейки исследовалось поглощение паров

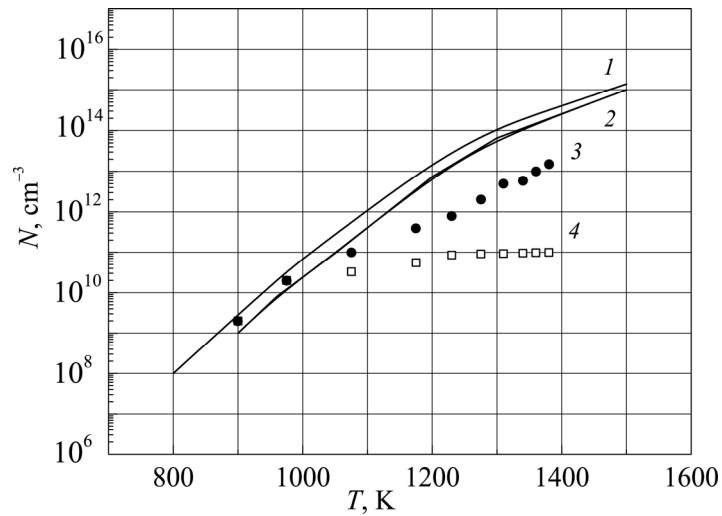


Рис.2. Зависимость плотности паров Ga от температуры: 1 – по данным работы [11], 2 – по данным работы [1], 3 – экспериментально измеренные значения, полученные с помощью ячейки, выдержанной около 50 часов при температуре 1080°C и 4 – экспериментально измеренные значения, полученные с помощью новоизготовленной ячейки.

Ga, содержащихся в цилиндрической кварцевой ячейке длиной 10 см и диаметром 2 см при наличии 10 торр буферного газа Ne. В качестве возбуждающего излучения использовалось излучение содержащихся в сферической ячейке смеси паров Ga и буферного газа Ne при высокочастотном электромагнитном возбуждении.

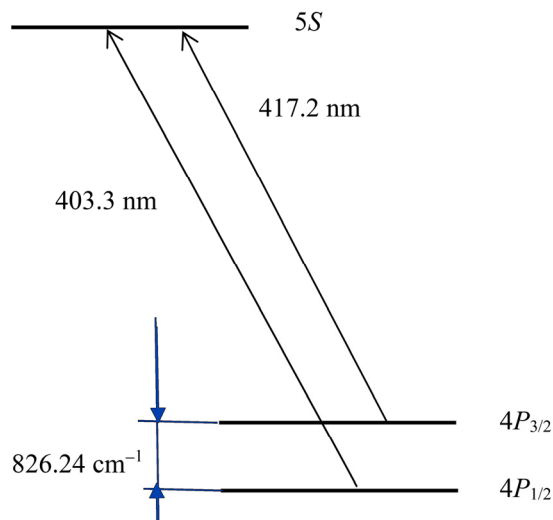


Рис.3. Диаграмма основных уровней и переходов атома Ga.

Данная ячейка была предварительно выдержана при высокой температуре ( $1080^{\circ}\text{C}$ ) около 50 часов с целью насыщения стенок ячейки диффундирующими в стенки атомами Ga. Возбуждающее излучение направлялось в цилиндрическую кварцевую ячейку. Ячейка помещалась в печь, позволяющую нагревать ячейку до  $1080^{\circ}\text{C}$ . Печь имела окна в продольном и поперечном направлении. Возбуждение осуществлялось в перпендикулярном направлении относительно направления регистрации. В спектре излучения смеси паров Ga и 10 торр буферного газа Ne, содержащихся в сферической ячейке, было зарегистрировано излучение атомов Ga на длине волны  $\lambda = 403.3$  нм (атомный переход с первого возбужденного уровня на основной уровень (рис.3)) [12], а также излучение буферного газа Ne на длине волны  $\lambda = 405.5$  нм (рис.4).

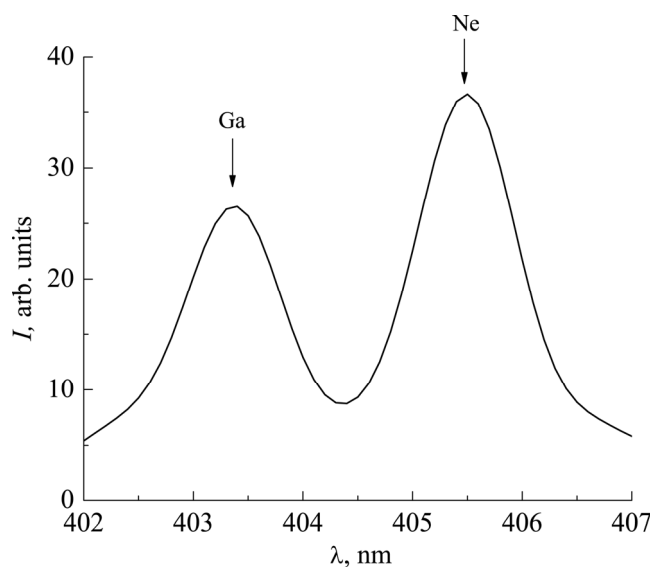


Рис.4. Спектр излучения смеси паров Ga и буферного газа Ne, содержащихся в сферической ячейке.

Плотность паров Ga в ячейке определялась по величине поглощения излучения ячейки на резонансной длине волны, согласно закону Бугера–Ламберта, измерением интенсивности возбуждающего излучения на резонансной длине волны  $\lambda = 403.3$  нм до и после ячейки. Для исключения влияния флуктуаций интенсивности излучения сферической ячейки интенсивность излучения на длине волны  $\lambda = 403.3$  нм нормировалась по интенсивности излучения атомов Ne на длине волны  $\lambda = 405.5$  нм. При этом плотность паров металла определялась с точностью до некоторой постоянной величины. При низких температурах ячейки

атомы металла не диффундируют в стенки ячейки, поэтому можно предположить, что экспериментально измеренное значение плотности паров при низких температурах (при комнатной температуре) совпадает с табличными значениями плотности паров (см., например, [1]).

#### 4. Заключение

Экспериментально показано, что при высоких температурах (1080°C) атомы галлия, содержащиеся в отпаянной кварцевой ячейке, диффундируют в стенки ячейки. В результате плотность паров металла в ячейке не соответствует табличным значениям плотности при данной температуре. При выдерживании ячейки с парами металла при высокой температуре атомы металла диффундируют в стенки ячейки, и при достижении насыщения стенок атомами металла плотность паров металла в объеме ячейки начинает возрастать.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **А.Н. Несмеянов.** Давление паров химических элементов. Москва, Издательство Академии Наук СССР, 1961.
2. **P. Bicchi, C. Marinelli, E. Mariotti, M. Meucci, L. Moi.** Optics Communications, **106**, 197 (1994).
3. **P. Bicchi, A. Khanbekyan, M. Meucci.** Anomalous Behaviour in Energy-Pooling Experiments in Dense Ga Vapour in Presence of Resonant Laser Radiation, National Conference on the Physics of Matter, Abstracts, Catania-Le Ciminiere, Italy, June 14–18, 1999.
4. **P. Bicchi, A. Khanbekyan, M. Meucci.** Anomalous Radiation Trapping in Ga Vapor Inside a Quartz Cell in Presence of Resonant Laser Radiation, 31st EGAS, MARSEILLE, 6–9 July, 1999.
5. **P. Bicchi, A. Khanbekyan, M. Meucci.** Atomic and Molecular Excitation and Ionization in Energy-Pooling in Dense Vapor of Group 111 Elements in Presence of Resonant Laser Photons, Proc. Laser Physics Conference, October 18–22, 1999, Armenia.
6. **P. Bicchi, S. Barsanti.** Radiation Physics and Chemistry, **68**, 91(2003).
7. **S.N. Atutov, F.A. Benimetskiy, A.I. Plekhanov, V. Sorokin, A.V. Yakovlev.** Eur. Phys. J. D, **71**, 12 (2017).
8. **N. Sekiguchi, T. Sato, K. Ishikawa, A. Hatakeyama.** Applied Optics, **57**, 52 (2018).
9. **Ф. Риле.** Стандарты частоты. Принципы и приложения. Москва, Физматлит, 2009.
10. **J.H. Schulman, W.D. Compton.** Color Centers in Solids. Oxford, Pergamon Press, 1962.
11. **E. Richard, E. Honig, D.A. Kramer.** RCA Review, 30, 1969.
12. **A.A. Radzig, B.M. Smirnov.** Reference Data on Atoms, Molecules and Ions. Berlin, Springer, 1985.

ԳԱԼԻՈՒՄԻ ԱՏՈՄՆԵՐԻ ՓՈԽԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ  
ՔՎԱՐՑԵ ԲՁԻՁԻ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹԻ ՀԵՏ

Ա.Մ. ԽԱՆԲԵԿՅԱՆ, Ա.Ա. ԽԱՆԲԵԿՅԱՆ

Փորձնականորեն հետազոտվել է գալիումի ատոմների ներթափանցման պրոցեսը ատոմների գոլորշի պարունակող քվարցե բջիջի պատերի մեջ: Ցույց է տրվել, որ երբ գալիումի գոլորշիներ պարունակող բջիջը տաքացվում է մինչև  $1080^{\circ}\text{C}$  ջերմաստիճան, տեղի է ունենում մետաղի ատոմների ներթափանցում բջիջի պատերի մեջ: Այդ պրոցեսի արդյունքում գալիումի գոլորշու ճնշումը բջիջում չի համապատասխանում աղյուսակային արժեքներին տվյալ ջերմաստիճանի համար: Միայն բջիջի պատերը ներթափանցած ատոմներով հագեցալուց հետո բջիջի ծավալում մետաղի գոլորշու խտությունը սկսում է աճել:

INTERACTION OF GALLIUM ATOMS WITH THE SURFACE  
OF THE QUARTZ CELL

A.M. KHANBEKYAN, A.A. KHANBEKYAN

The process of diffusion of gallium atoms into the walls of an atomic vapor containing quartz cell was experimentally examined. It has been shown that when the cell containing gallium vapor is heated to a temperature of  $1080^{\circ}\text{C}$ , the metal atoms diffuse into the walls of the cell. As a result, the gallium vapor pressure in the cell does not correspond to the tabular values for the given temperature. Only when the cell walls are saturated by diffused atoms, the density of metal vapor in the volume of the cell increases.