

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

03;12

Журнал технической физики, т. 66, в. 4, 1996

ИСПАРЕНИЕ ГАЛЛИЯ И ИНДИЯ
В УСЛОВИЯХ ЛЕНГМЮРА

© Ю.П.Хузрянский, Л.Н.Веремьянина, О.И.Сысоев, Л.В.Крылова

Воронежский государственный технический университет,
394026 Воронеж, Россия
(Поступило в Редакцию 20 января 1995 г.)

Кинетика свободного испарения галлия и индия в вакууме представляет большой научный и практический интерес, поскольку, с одной стороны, изучение этого процесса позволяет получить новую важную информацию о свойствах межфазной границы, а с другой стороны, количественные соотношения для плотности потока испаряющегося вещества находят применение в разнообразных технических расчетах, связанных с термическим испарением галлия и индия. Насколько нам известно, в литературе этот вопрос остается неосвещенным.

Эксперимент был поставлен нами следующим образом. Навески галлия Гл-000 и индия Ин-00 в количестве 2–3 г помещались в кварцевые тигли и отжигались при температуре 1273 К в атмосфере высокочистого водорода в течение 30 мин. Высота тиглей была равной 1.4–1.5, диаметр 1–1.5 см. После отжига тигель с исследуемым металлом помещался в кварцевую камеру вакуумной термической установки с терморрадиационным нагревом. Камера вакуумировалась, затем она заполнялась до атмосферного давления высокочистым водородом с точкой росы ~ 190 К и содержанием кислорода менее $2 \cdot 10^{-5}$ об. % и вновь вакуумировалась до остаточного давления ~ 1 Па. Тигель нагревался и выдерживался при заданной температуре определенное время, которое в разных экспериментах изменялось от 3 до 180 мин. По убыли массы тигля с образцом металла определялась плотность потока при испарении. При каждой температуре было проведено 4–6 измерений с разным временем испарения. Усредненные результаты эксперимента приведены в таблице. Там же приведены значения равновесного давления пара галлия и индия, которые были взяты из термодинамических таблиц [1].

Анализ экспериментальных данных показывает, что, во-первых, температурная зависимость плотности потока испаряющегося металла имеет аррениусовский характер с энергией активации 236.2 ± 9.8 кДж/моль для галлия и 216.4 ± 14.1 кДж/моль для индия, что несколько меньше энтальпии испарения этих элементов в интервале температур 1073–1273 К: 265 и 234 кДж/моль соответственно. Во-вторых,

T, К	Галлий		
	$J_{\text{экс}}, \text{моль/см}^2 \cdot \text{с}$	$J_{\text{расч}}, \text{моль/см}^2 \cdot \text{с}$	$P_{\text{Ga}}, \text{Па}$
1273	$(3.46 \pm 0.50) \cdot 10^{-7}$	$8.62 \cdot 10^{-7}$	$5.87 \cdot 10^{-1}$
1173	$(5.93 \pm 0.78) \cdot 10^{-8}$	$1.06 \cdot 10^{-7}$	$6.93 \cdot 10^{-2}$
1073	$(6.33 \pm 0.70) \cdot 10^{-9}$	$8.78 \cdot 10^{-9}$	$5.49 \cdot 10^{-3}$
973	$(3.59 \pm 0.50) \cdot 10^{-10}$	$4.33 \cdot 10^{-10}$	$2.58 \cdot 10^{-4}$
909	—	—	—

Таблица (продолжение).

T, К	Индий		
	$J_{\text{экс}}, \text{моль/см}^2 \cdot \text{с}$	$J_{\text{расч}}, \text{моль/см}^2 \cdot \text{с}$	$P_{\text{Ga}}, \text{Па}$
1273	$(4.15 \pm 1.59) \cdot 10^{-6}$	$6.32 \cdot 10^{-6}$	5.53
1173	$(9.15 \pm 2.15) \cdot 10^{-7}$	$1.00 \cdot 10^{-6}$	$8.39 \cdot 10^{-1}$
1073	$(9.14 \pm 1.78) \cdot 10^{-8}$	$1.12 \cdot 10^{-7}$	$8.96 \cdot 10^{-2}$
973	$(8.33 \pm 0.75) \cdot 10^{-9}$	$7.90 \cdot 10^{-9}$	$6.04 \cdot 10^{-3}$
909	$(1.24 \pm 0.16) \cdot 10^{-9}$	$1.07 \cdot 10^{-9}$	$7.88 \cdot 10^{-4}$

плотность потока испаряющегося галлия меньше плотности потока индия при одной и той же температуре испарения, причем с увеличением температуры скорость роста плотности потока и равновесного давления остается примерно одинаковой как для галлия, так и для индия.

Последнее обстоятельство позволяет сделать предположение о том, что при испарении галлия и индия в условиях Ленгмюра в переходной зоне между расплавом и вакуумом средней величины (~ 1 Па) существует “надповерхностный” слой пара металла, давление которого равно равновесному значению при температуре испарения. Действительно, в этом случае плотность потока пара металла из “надповерхностного” слоя в вакуум равна [2]

$$J_{\text{расч}}(T) = \frac{P(T)}{N_0 \sqrt{2\pi m k T}} \sin^2 \theta, \quad (1)$$

где $P(T)$ — равновесное давление пара металла при температуре испарения T , N_0 — число Авогадро, m — масса атома испаряющегося металла, k — постоянная Больцмана, θ — наибольшее значение угла между нормалью к межфазной поверхности и направлением вылета атомов испаряющегося металла из “надповерхностного” слоя.

Расчитанные по (1) значения $J_{\text{расч}}(T)$ при $\theta = \pi/2$ приведены в таблице, из которой видно достаточно хорошее согласование экспериментальных данных с расчетом. Если же считать, что θ слабо увеличивается при понижении температуры, а усредненное значение θ в исследованном интервале температур равно $\sim 50-60^\circ$, то совпадение расчета с экспериментом будет практически полным. Вероятно, температурная зависимость $\theta(T)$ может быть объяснена в рамках кинетической теории разреженных газов [3].

Следует отметить, что рассматриваемая модель процесса испарения даже в предположении $\theta(T) = \text{const}$ качественно объясняет различие значений энергии активации ΔE процесса свободного испарения в вакууме и энтальпии испарения ΔH галлия и индия. Действительно, из (1) следует, что в рассматриваемом интервале температур с большой точностью имеет место приближение

$$\frac{\exp\left(-\frac{\Delta H}{RT}\right)}{\sqrt{T}} = \exp\left(-\frac{\Delta E}{RT}\right), \quad (2)$$

где R — универсальная газовая постоянная.

Из соотношения (2) видно, что $\Delta H > \Delta E$, и это действительно подтверждается экспериментально.

Список литературы

- [1] Термодинамические свойства индивидуальных веществ / Под ред. В.П. Глушко. М.: Наука, 1964. Т. 3. 395 с.
- [2] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. М.: Наука, 1976. 583 с.
- [3] Гирифельдер Дж., Кертисс Ч., Берд Р. Молекулярная теория газов и жидкостей. М.: ИЛ, 1961. 929 с.

02;04;07

Журнал технической физики, т. 66, в. 4, 1996

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗЛУЧЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ СТРУИ НА СМЕШЕНИИ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ С МОЛЕКУЛАМИ CCl_4 , HCl И SF_6

© В.С.Розулич, В.С.Шевера

Ужгородский государственный университет,
294000 Ужгород, Украина
(Поступило в Редакцию 10 марта 1995 г.)

Для решения многих научных и технических задач (взаимодействие излучения с веществом, фотохимия, микро- и химическая технология и т. д.) крайне необходимы мощные источники спонтанного и вынужденного излучения. В настоящее время [1-4] существенный интерес здесь представляют разработка непрерывных источников излучения и поиск новых перспективных способов накачки активных сред различных модификаций плазмохимических лазеров.

В настоящей работе проведено исследование характеристик излучения эксимерных молекул XeCl^* и KrF^* в плазменной струе на смешении сверхзвуковых потоков плазмы инертных газов (Ar , He , Kr , Xe) с невозбужденными потоками галогеноносителей CCl_4 , HCl и SF_6 . Получены данные об эффективности возбуждения XeCl^* и KrF^* в непрерывных плазменных потоках с участием галогенов. Такие исследования являются актуальными и связаны с решением проблемы создания непрерывных плазмодинамических лазеров высокой удельной мощности в УФ диапазоне спектра.