

ДИФФУЗИЯ И РАСТВОРИМОСТЬ ГЕЛИЯ В ГАММА-ОКСИДЕ АЛЮМИНИЯ

Перечнев Д.А.¹, Коромыслов А.В.¹, Коваленко М.А.¹

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: pperechnev@mail.ru

DIFFUSION AND SOLUBILITY OF HELIUM IN GAMMA-ALUMINIUM OXIDE

Perechnev D.A.¹, Koromyslov A.V.¹, Kovalenko M.A.¹

¹⁾ Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

Solubility and diffusion coefficients of helium were measured in γ -aluminium oxide. High solubility values and low diffusion coefficients of helium were obtained, with diffusion activation energy (0.08 ± 0.03) eV. This may point out to a high binding energy of helium atoms with ions in the crystal.

Процессы растворения и диффузии гелия в твердых телах представляют интерес как с фундаментальной, так и с практической точек зрения. Гелий образуется в ядерных реакторах в результате процессов альфа-распада, поэтому возникает необходимость в изучении процессов его накопления и выхода. Гелий востребован во многих областях промышленности, материалы с высокими коэффициентами диффузии перспективны для его энергоэффективной добычи.

Ранее в нашей лаборатории была обнаружена высокая растворимость гелия в кристаллах γ -оксида алюминия. С помощью масс-спектрометра МИ-1201Б, работающего в статическом по гелию режиме, были измерены потоки гелия, десорбирующегося из образцов γ -оксида алюминия. Выражения для нахождения коэффициента диффузии D и растворимости C были определены из второго закона Фика для дегазации газа из шара в вакуум, и для приближения больших времен записываются как:

$$D = (R_0^2 A) / (\pi^2), \quad C = (\pi^4 e^B) / (1536 R_0 D N_0),$$

где R_0 — радиус порошинки, N_0 — начальное кол-во частиц, A и B — коэффициенты в линейном разложении логарифма экспериментальных потоков дегазирующегося гелия:

$$\ln(P_{\text{яд}} / kT\Delta t) = -At + B,$$

где $P_{\text{яд}}$ — давление в ячейке с образцом при дегазации гелия за период Δt , T — температура образца, t — время с начала эксперимента. Насыщение проводилось всегда при 500°C , средняя удельная растворимость $C = (1,2 \pm 0,7) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}/\text{атм}$ хорошо согласуется с ранее проведенными исследованиями.

Коэффициенты диффузии в низкотемпературной области $(200 \div 400)^\circ\text{C}$ описываются линейной зависимостью в координатах Аррениуса, с энергией

активации (0.08 ± 0.03) эВ. При этом, например, при 200°C коэффициент диффузии имеет величину $D = 3,6_{-1,0}^{+1,7} \cdot 10^{-11} \text{ см}^2/\text{с}$, за сутки из образца дегазируется порядка 15% изначально растворенного гелия.

Высокая растворимость и относительно низкий коэффициент диффузии гелия могут указывать на высокие энергии связи атомов гелия с данным ионным кристаллом. Малая (Ван-дер-Ваальсовская) энергия связи обуславливает высокие скорости диффузии, как, например, в кварцевом стекле, поэтому полые микросферы из кварцевого стекла используются для сорбции гелия из природного газа [1]. При этом растворимость гелия в кварцевом стекле $(2,4 \pm 0,1) \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}/\text{атм}$ ($T = 800^\circ\text{C}$) [2] также велика, что очевидно определяется внутренней структурой.

Планируемые в дальнейшем измерения позволят определить зависимость растворимости гелия от давления насыщения, энергию связи гелия с кристаллом, а также методом ядерного магнитного резонанса независимо получить коэффициенты диффузии гелия в γ -оксиде алюминия.

1. С.В. Долгушев, В.М. Фомин, Вычислительная механика сплошных сред, Т. 1, № 3, С. 66-75, (2008)
2. А.В. Коромыслов, А.Я. Купряжкин, Журнал технической физики, Т. 87, № 9, С. 1407-1410, (2017)