

Исследование фотолюминесценции алмазов, содержащих комплексы германий-вакансия, под давлением.*А.А. Разгулов^{1,2}, С.Г. Ляпин², А.П. Новиков², Е.А. Екимов²*¹Московский физико-технический институт (государственный университет)²Институт физики высоких давлений им. Л.Ф. Верещагина РАН

Изучение оптически активных центров в алмазах представляет интерес по целому ряду причин. Во-первых, центры окраски в алмазах являются интересной физической системой с точки зрения реализации однофотонного излучателя, необходимого для воплощения перспективных технологий в области квантовой метрологии и квантовой криптографии. Во-вторых, данные центры рассматриваются в качестве перспективных биомаркеров благодаря тому, что они не являются цитотоксичными, и их спектры люминесценции не перекрываются по частотам со спектрами органических соединений и тканей.

При изучении влияния локального кристаллического поля на фотолюминесценцию центров окраски в алмазах, а также при анализе ее температурной зависимости необходимо знать тензор напряжений, и в частности барический коэффициент энергии излучательного перехода. К сожалению, до недавнего времени был известен только барический коэффициент энергии излучательного перехода для отрицательно заряженного центра азот-вакансия (NV⁻) [1, 2]. Ранее в нашей группе был получен барический коэффициент энергии излучательного перехода для центра кремний-вакансия (SiV) [3]. В настоящей работе мы приводим результаты аналогичных исследований для центра германий-вакансия (GeV).

В данной работе была исследована фотолюминесценция микроразмерных алмазов, содержащих GeV. Образцы были выращены НРТ методом из смеси нафталина (C₁₀H₈, 99% 12С) и натурального германия [4]. Измерения проводились при комнатной (296К) и азотной (80К) температурах в диапазоне давлений до ~ 6 ГПа. Образцы были помещены в камеру высокого давления с алмазными наковальнями, в качестве среды, передающей давления использовался гелий. Для низкотемпературных измерений алмазная камера помещалась в криостат.

В спектре фотолюминесценции GeV центра доминирует бесфоновая линия (БФЛ), которая соответствует бесфононным переходам между его возбужденным и основным состояниями. Форма этой линии сильно зависит от температуры: при комнатной температуре она представляет собой один широкий пик, однако при понижении температуры широкий пик сначала расщепляется на два пика (дублет на рис. 1а), затем каждый из пиков расщепляется еще на два (при T~10К) [3]. Наличие 4-х пиков обуславливается расщеплением как основного, так и возбужденного состояний.

На рис. 1а представлена эволюция положений пиков БФЛ при увеличении давления, при T=80К. Видно, что вплоть до максимальных давлений, достигнутых в нашей работе, каждый из пиков дублета имеет некоторое «плечо». Это позволило нам аппроксимировать БФЛ четырьмя пиками с лоренцевским профилем (рис. 1б). Полученные барические коэффициенты энергии излучательных переходов оказались $dE/dp = 3.1$ мэВ/ГПа при T=80К (рис. 1в) и 3.3 мэВ/ГПа при комнатной температуре. Интересно отметить, что барический коэффициент для БФЛ в центре кремний-вакансия (SiV) [3] практически в три раза меньше, чем аналогичный коэффициент для GeV. Этот результат является неожиданным, поскольку строение этих центров изоморфно [5], отличие состоит только в атомных размерах и массах примесного атома. Расщепление основного состояния оказалось нечувствительным к давлению с точностью до +/-0.01 [мэВ/ГПа], а расщепление возбужденного состояния линейно росло с давлением, барический коэффициент величины расщепления возбужденного состояния равен $dE/dp = 0.02 +/- 0.01$ [мэВ/ГПа].

Алмазы, исследуемые в данной работе, помимо GeV центров, содержали центры NV, образовавшиеся в результате самопроизвольного легирования в процессе роста образцов. Были получены барические коэффициенты энергий излучательных переходов для центра NV^0 ($dE/dp = 2.18$ мэВ/ГПа) и центра NV^- ($dE/dp = 5.75$ мэВ/ГПа). Результаты для NV^- центра оказались в хорошем согласии с данными, приведёнными в работах [1, 2], в то время, как результаты для NV^0 центра публикуются впервые.

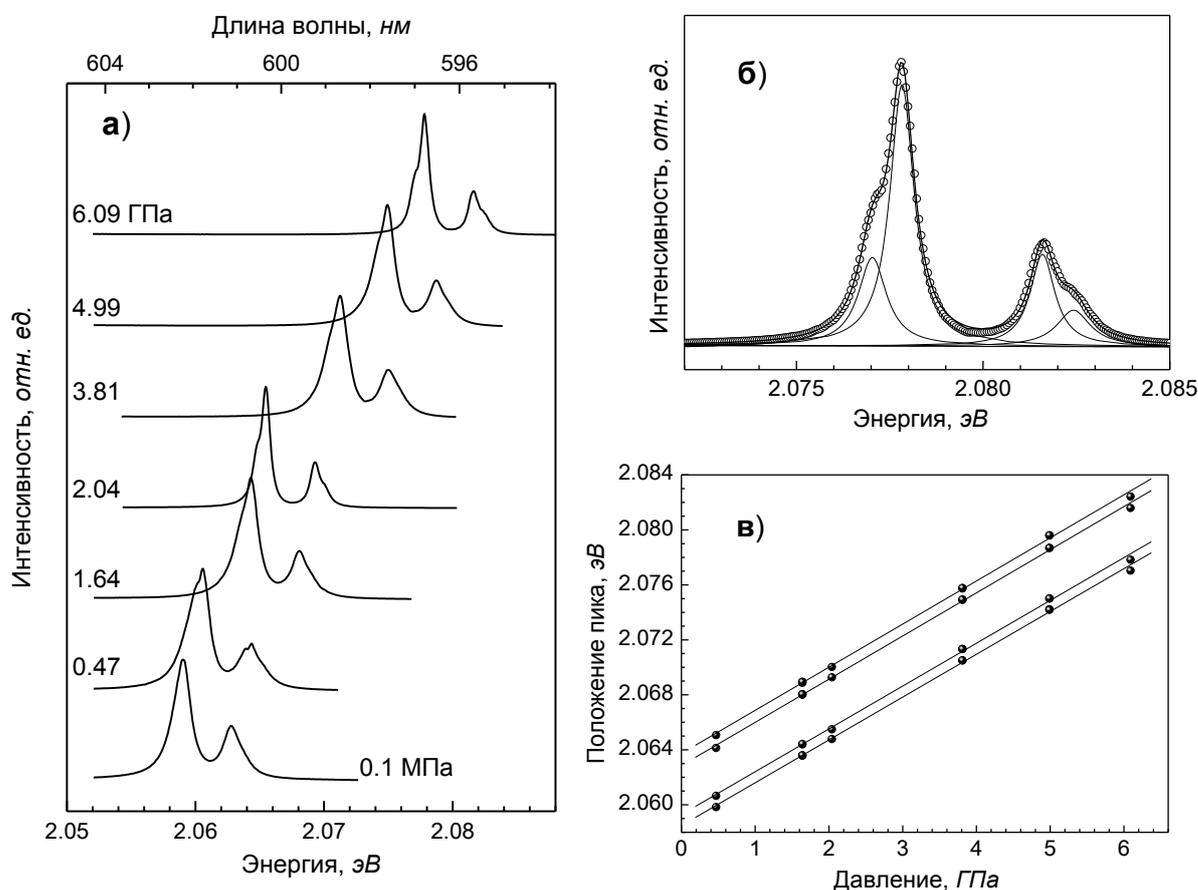


Рис.1. Эволюция положений пиков БФЛ при увеличении давления (а), пример аппроксимации дублета БФЛ при $T=80$ К, $P= 6.1$ ГПа (б), барическая зависимость положений пиков БФЛ при $T=80$ К (в).

Литература

1. Kobayashi M. and Nisida Y., High-Pressure Effects on Photoluminescence Spectra of Color-Centers in Diamond // Jpn. J. Appl. Phys., 1993. V. 32, Supplement 32-1, P. 279-281.
2. Doherty M.W., Struzhkin V.V., Simpson D.A. et al., Electronic properties and metrology applications of the diamond NV- center under pressure // Phys. Rev. Lett., 2014. V. 112, 047601.
3. Ильичев И.Д., Ляпин С.Г., Давыдов В.А. et al., Исследование фотолюминесценции Si-V центра в алмазе под давлением // Труды 57 й конференции МФТИ - Всероссийской научной конференции «Актуальные проблемы фундаментальных и прикладных наук в современном информационном обществе» 2014. V. 2, P. 78–79
4. Ekimov E.A., Lyapun S.G., Boldyrev K.N. et al., Germanium–vacancy color center in isotopically enriched diamonds synthesized at high pressures // JETP Letters, 2015. V. 102, P. 701-706.
5. Goss J.P., Briddon P.R., Rayson M.J. et al., Vacancy-impurity complexes and limitations for implantation doping of diamond // Phys. Rev. B, 2005. V. 72, 035214.