

СПИН-СЕЛЕКТИВНОЕ ТУННЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ МЕЖДУ ДЕФЕКТАМИ В КРИСТАЛЛАХ

С.М.Кузаков, Р.Врекер¹⁾, М.Гласбеек¹⁾

Обнаружено явление спин-селективного электронного туннелирования между возбужденными состояниями радиационных дефектов в кристаллах СаО. Электроны туннелируют лишь из отдельных спиновых подуровней возбужденного триплетного состояния F_A^- дефектов.

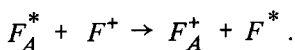
В настоящей работе впервые применен метод задержанного оптически детектированного ЭПР при $T = 1,2\text{К}$ для изучения процессов электронного туннелирования между F_A^- и F_A^{+} дефектами в кристаллах СаО. Радиационные дефекты создавались облучением кристалла быстрыми нейтронами с дозой 10^{16} н/см². Энергетическая структура дефектов вакансионного типа в СаО изучалась в работах ¹⁻³. В работе ⁴ сообщалось также об электронном переносе между F и F_A^{+} -дефектами.

В методе, предложенном в данной работе, задержанный магнитный резонанс осуществлялся между триплетными спиновыми подуровнями фотовозбужденных F_A^- -центров, а детектировалось оптическое излучение пространственно-удаленных F -центров. Это позволило избирательно следить за туннелированием электронов из отдельных спиновых подуровней T_x, T_y, T_z F_A^- -центров. Схема энергетических уровней синглетных и триплетных состояний F_A^- -центра в нулевом магнитном поле показана на рис. 1. Импульсом Ag^+ ионного лазера ($\lambda = 458$ нм, $\tau = 20$ мс) F_A^- -центры переводились в возбужденное синглетное состояние 1E . Затем, вследствие процесса интерсистемной безызлучательной релаксации, населялись спиновые подуровни T_x, T_y и T_z триплетного 3A_1 состояния F_A^- -центра. Излучательные подуровни T_x и T_y спонтанно распадаются с временем жизни $\tau = 3$ мс, в то время как "темновой" спиновый подуровень T_z является долгоживущим с $\tau > 400$ мс. На рис. 2 показана последовательность импульсов лазерного и микроволнового излучения, направляемых на кристалл, а также "отклик" излучения F -центров. Детектирование излучения F -центров производилось с временной задержкой $t = 250$ мс после лазерного импульса, когда все излучательные состояния дефектов в кристалле спонтанно распались. Излучения F -центров после указанного времени задержки не наблюдалось. Через время $t = 265$ мс на кристалл подавался импульс микроволновой радиации ($\nu = 1,369$ ГГц, $\tau = 100$ мкс), резонансный с переходом $T_z \rightarrow T_x, T_y$ в F_A^- -центре. Вследствие магнитного резонанса происходил перенос электронов на состояния T_x, T_y , что вызывало добавочный импульс фосфоресценции F_A^- -центров. Кроме того, и это вызывает особый интерес, наблюдался импульс излучения F -центров (рис. 2). Отметим, что оптическая накачка в это время отсутствовала.

¹⁾ Лаборатория физической химии Амстердамского университета, Нидерланды.

Излучательный либо безызлучательный перенос энергии от F_A^- к F^- -центрам исключается вследствие большого энергетического несоответствия уровней данных центров. Рекомбинационные процессы с участием зоны проводимости при температуре эксперимента $T = 1,2\text{K}$ для F_A^- -центра тоже исключаются.

Следовательно, магнитный резонанс на триплетных спиновых подуровнях F_A^- -центров индуцирует процесс электронного туннелирования с F_A^- на F^+ -центры, который сопровождается фотохимической конверсией дефектов согласно реакции



В результате электронного туннелирования образуются F^- -центры в возбужденном состоянии.

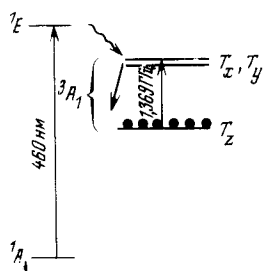


Рис. 1. Энергетическая структура и электронные переходы в системе синглетных уровней и триплетных спиновых подуровней в нулевом магнитном поле для $F_A^-(\text{Mg})$ центра в CaO

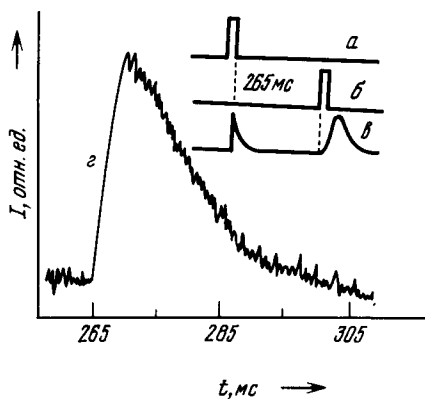


Рис. 2. Последовательность импульсов, воздействующих на кристалл; а – лазерный импульс, б – импульс микроволновой радиации, в, г, – оптический "отклик" излучения F^- -центров, $T = 1,2\text{K}$

Кроме того, полученные результаты являются прямым экспериментальным доказательством того, что: а) электронное туннелирование происходит из возбужденных триплетных состояний F_A^- -центра; б) вероятность туннелирования сильно зависит от начального спинового состояния электронов; электроны туннелируют из T_x и T_y спиновых состояний, но не из T_z спинового состояния.

Обнаруженный эффект спин-селективного электронного туннелирования может быть связан с тем, что триплетные спиновые состояния T_x , T_y и T_z характеризуются различным пространственным распределением волновых функций, вследствие различной величины смешивания с возбужденным синглетным состоянием.

Литература

1. Welch L.S., Hughes A.E., Summers G.P. J. Phys., 1980, C13, 1791.
2. Welch L.S., Hughes A.E. J. Phys., 1980, C13, 5801.
3. Henderson B., McDonagh C.M. J. Phys., 1980, C13, 5811.
4. Ahlers F.J., Lohse F., Spaeth J.M. Solid State Comm., 1982, 43, 321.