

11-30-2020

## DYNAMIC POLARIZATION OF ELECTRONIC SPINS INTERACTING WITH NUCLEAR SPIN FLUCTUATIONS

D S. Smirnov

*PTI by named A. F. Ioffe, St. Petersburg, Russia. smirnov@mail.ioffe.ru*

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/ferpi>

---

### Recommended Citation

Smirnov, D S. (2020) "DYNAMIC POLARIZATION OF ELECTRONIC SPINS INTERACTING WITH NUCLEAR SPIN FLUCTUATIONS," *Scientific-technical journal*: Vol. 3 : Iss. 5 , Article 14.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/ferpi/vol3/iss5/14>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Scientific-technical journal by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact [sh.erkinov@edu.uz](mailto:sh.erkinov@edu.uz).

UDK 538.958

**DYNAMIC POLARIZATION OF ELECTRONIC SPINS INTERACTING WITH NUCLEAR SPIN FLUCTUATIONS****Smirnov D.S.**PTI by named A. F. Ioffe, St. Petersburg, Russia. [smirnov@mail.ioffe.ru](mailto:smirnov@mail.ioffe.ru)**ДИНАМИЧЕСКАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СПИНОВ, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ С ЯДЕРНЫМИ СПИНОВЫМИ ФЛУКТУАЦИЯМИ****Смирнов Д. С.**ФТИ им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия. [smirnov@mail.ioffe.ru](mailto:smirnov@mail.ioffe.ru)

**Abstract.** *A new method of spin orientation is proposed in this work - the dynamic polarization of the spins of localized electrons interacting with nuclear spin fluctuations in a small magnetic field. It is shown that the dynamic polarization of electron spins has a number of advantages: it is realized in low magnetic fields, the direction of which can be easily changed; occurs with nonresonant and unpolarized excitation; does not depend on temperature, insofar as the main mechanism of electron spin relaxation is hyperfine interaction with nuclei; under optimal conditions, it achieves 100% spin polarization.*

**Key words:** electronic and nuclear spins, dynamic polarization, excitons, quantum dots, magnetic field, photoluminescence.

**Аннотация.** *В работе предложен новый метод спиновой ориентации – динамическая поляризация спинов локализованных электронов, взаимодействующих с ядерными спиновыми флуктуациями, в малом магнитном поле. Показано, что динамическая поляризация электронных спинов обладает рядом преимуществ: она реализуется в малых магнитных полях, направление которых может легко изменяться; возникает при нерезонансном и неполяризованном возбуждении; не зависит от температуры, постольку, поскольку основным механизмом спиновой релаксации электронов является сверхтонкое взаимодействие с ядрами; при оптимальных условиях позволяет достичь 100% спиновой поляризации.*

**Ключевые слова:** электронные и ядерные спины, динамическая поляризация, экситоны, квантовые точки, магнитное поле, фотолюминесценция.

С начала исследования полупроводниковых наноструктур пониженной размерности изучение их спиновых свойств выросло в широкое направление – полупроводниковую спинтронику. Существует два основных метода ориентации электронных спинов. Первый – термическая поляризация, которая основана на приложении к структуре сильного магнитного поля, в котором зеемановское расщепление спиновых подуровней превосходит тепловую энергию. Второй – оптическая ориентация, которая происходит при облучении полупроводника циркулярно поляризованным светом. При этом за счёт спин-орбитального взаимодействия угловой момент передаётся от фотонов электронам, и они приобретают спиновую поляризацию. В этой работе мы предлагаем новый метод спиновой ориентации – динамическая поляризация спинов локализованных электронов, взаимодействующих с ядерными спиновыми флуктуациями, в малом магнитном поле.

Этот метод имеет широкую область применимости. Нами была построена микроскопическая теория и проведены эксперименты для экситонов, локализованных в квантовых точках. За счёт короткодействующего обменного взаимодействия между электроном и тяжёлой дыркой,

четыре низшие состояния экситона расщепляются на два тёмных с угловым моментом  $F_z = \pm 2$  вдоль оси роста и два светлых с  $F_z = \pm 1$ , см. рис. 1(a). В силу правил отбора только светлые экситоны могут рекомбинировать с испусканием фотона, за счёт чего они обладают коротким временем жизни. В результате при нерезонансном возбуждении наиболее заселёнными оказываются тёмные экситонные состояния. Они могут рекомбинировать за счёт смешивания со светлыми состояниями случайным полем Оверхаузера ядер кристаллической решётки [1].

В продольном магнитном поле расщепления между состояниями с  $F_z = \pm 1$  и  $\pm 2$  оказываются различны, так что одно из тёмных экситонных состояний обладает более коротким временем жизни, чем другое [2]. В результате этого при нерезонансной генерации экситонов возникает электронная спиновая поляризация [3]

$$P_e = -2 B_z V_{\text{exch}} / (V_{\text{exch}}^2 + \Delta_B^2/2 + B_z^2),$$

где  $V_{\text{exch}}$  – эффективное обменное поле создаваемое дыркой, действующее на электрон, а  $\Delta_B$  – характерная величина случайного поля Оверхаузера. Средний угловой момент для электронов при этом изымается из ядерной спиновой подсистемы.

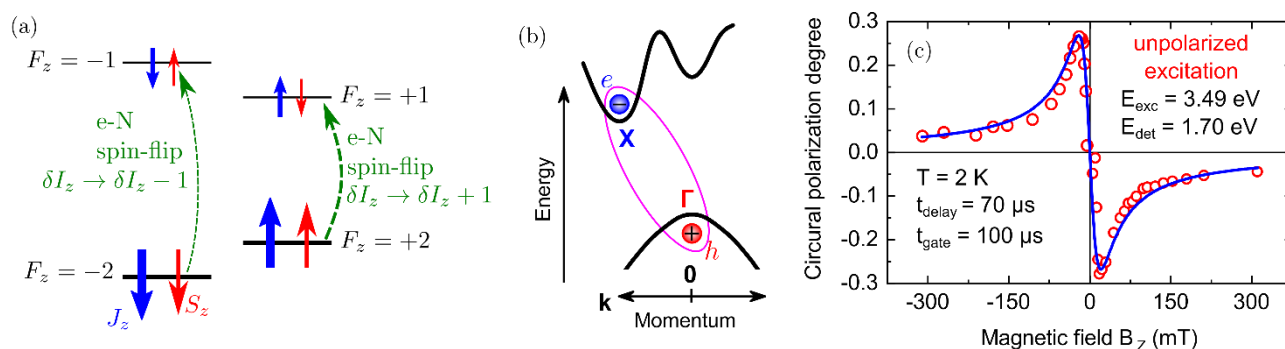


Рис. 1. (a) Схема экситонных уровней в квантовой точке во внешнем поле и переход между ними. (b) Энергетическая диаграмма непрямых по импульсу экситонов в  $(\text{In,Al})\text{As}/\text{AlAs}$  квантовых точках. (c) Степень поляризации люминесценции измеренная при задержке 70—100 мкс после неполяризованного оптического импульса возбуждения и её подгонка по теоретической формуле.

Эксперименты по динамической поляризации были выполнены на непрямых по импульсу экситонах в  $(\text{In,Al})\text{As}/\text{AlAs}$  квантовых точках типа I, см. рис. 1(b) [3]. Была измерена степень поляризации фотолюминесценции с временным разрешением при неполяризованном импульсном оптическом возбуждении. В малом продольном магнитном поле люминесценция была существенно поляризована, см. рис. 1(c). Максимальная степень поляризации достигала 30% при поле 17 мТл и убывала с дальнейшим увеличением поля в согласии с теоретической формулой. Степень динамической поляризации слабо менялась при увеличении температуры от 2 до 7 К.

Динамическая поляризация электронных спинов обладает рядом преимуществ. а) Она реализуется в малых магнитных полях, направление которых может легко изменяться. б) Она возникает при нерезонансном и неполяризованном возбуждении. в) Она не зависит от температуры, постольку, поскольку основным механизмом спиновой релаксации электронов является сверхтонкое взаимодействие с ядрами. г) Она при оптимальных условиях позволяет достичь 100% спиновой поляризации.

#### References:

- [1] A. V. Shchepetilnikov, D. D. Frolov, Yu. A. Nefyodov, I. V. Kukushkin, D. S. Smirnov, L. Tiemann, C. Reichl, W. Dietsche, and W. Wegscheider. Nuclear magnetic resonance and nuclear spin relaxation in AlAs quantum well probed by ESR. *Phys. Rev. B* **94**, 241302(R) (2016).

- [2] M. S. Kuznetsova, J. Rautert, K. V. Kavokin, D. S. Smirnov, D. R. Yakovlev, A. K. Bakarov, A. K. Gutakovskii, T. S. Shamirzaev, and M. Bayer. Electron-nuclei interaction in the X valley of (In,Al)As/AlAs quantum dots. *Phys. Rev. B* **101**, 075412 (2020).
- [3] D. S. Smirnov, T. S. Shamirzaev, D. R. Yakovlev, and M. Bayer. Dynamic Polarization of Electron Spins Interacting with Nuclei in Semiconductor Nanostructures. *Phys. Rev. Lett.* **125**, 156801 (2020).