

11-30-2020

## INTERACTION OF SPIN CENTERS IN SiC WITH ACOUSTIC OSCILLATIONS

A V. Poshakinsky

*PTI by named A.F. Ioffe, Saint Petersburg, Russia, poshakinskiy@mail.ioffe.ru*

G V. Astakhov

*Helmholtz-Zentrum, Dresden, Germany*

A Hernández-Mínguez

*Paul-Drude-Institut für Festkörperelektronik, Berlin, Germany*

P V. Santos

*Paul-Drude-Institut für Festkörperelektronik, Berlin, Germany*

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

---

### Recommended Citation

Poshakinsky, A V.; Astakhov, G V.; Hernández-Mínguez, A; and Santos, P V. (2020) "INTERACTION OF SPIN CENTERS IN SiC WITH ACOUSTIC OSCILLATIONS," *Scientific-technical journal*: Vol. 3 : Iss. 5 , Article 9. Available at: <https://uzjournals.edu.uz/ferpi/vol3/iss5/9>

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

**INTERACTION OF SPIN CENTERS IN SiC WITH ACOUSTIC OSCILLATIONS**<sup>1</sup>Poshakinsky A.V., <sup>2</sup>Astakhov G.V., <sup>3</sup>Hernández-Mínguez<sup>3</sup> A., Santos<sup>3</sup> P. V.<sup>1</sup>PTI by named A.F. Ioffe, Saint Petersburg, Russia<sup>2</sup>Helmholtz-Zentrum, Dresden, Germany<sup>3</sup>Paul-Drude-Institut für Festkörperelektronik, Berlin, Germany**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СПИНОВЫХ ЦЕНТРОВ В SiC С АКУСТИЧЕСКИМИ КОЛЕБАНИЯМИ**<sup>1</sup>Пошакинский А.В., <sup>2</sup>Астахов Г.В., <sup>3</sup> Hernández-Mínguez А., <sup>3</sup> Santos P. V.<sup>1</sup>ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия<sup>2</sup>Helmholtz-Zentrum, Dresden, Germany<sup>3</sup>Paul-Drude-Institut für Festkörperelektronik, Berlin, Germany[poshakinskiy@mail.ioffe.ru](mailto:poshakinskiy@mail.ioffe.ru)

**Abstract.** *The paper proposes a method for controlling the spin state of color centers based on their interaction with acoustic vibrations. An effective Hamiltonian is constructed that describes the interaction of spin 3/2 defects with lattice vibrations in the spherical approximation. It was used to calculate the spin-lattice relaxation times in a bulk crystal due to single-phonon and Raman processes. From their comparison with the experimentally measured temperature dependence of the spin relaxation rate, the constant of deformation spin-lattice interaction is determined.*

**Key words:** silicon carbide, spin centers, acoustic vibrations, effective Hamiltonian, spin-lattice relaxation, optical pumping, one-phonon and Raman processes.

**Аннотация.** *В работе предложен способ управления спиновым состоянием центров окраски, основанный их взаимодействием с акустическими колебаниями. Построен эффективный гамильтониан, описывающий взаимодействие дефектов со спином 3/2 с колебаниями решетки в сферическом приближении. С его помощью были рассчитаны времена спин-решеточной релаксации в объемном кристалле, обусловленные однофононными и рамановскими процессами. Из их сопоставления с экспериментально измеренной температурной зависимостью скорости спиновой релаксации определена константа деформационного спин-решеточного взаимодействия.*

**Ключевые слова:** карбид кремния, спиновые центры, акустические колебания, эффективный гамильтониан, спин-решеточная релаксация, оптическая накачка, однофононные и рамановские процессами.

Центры окраски в карбиде кремния обладают уникальными оптическими и спиновыми свойствами. Их спиновое состояние можно инициализировать и считывать при помощи импульсов инфракрасной спектральной области, а времена спиновой релаксации достигают десятков миллисекунд при комнатной температуре и нескольких секунд при низких температурах. Особый интерес представляют кремниевые вакансии, обладающие спином 3/2. Такие центры могут находиться в суперпозиции четырех спиновых состояний, что дает более широкие возможности для их применения в квантовых вычислениях по сравнению с традиционными двухуровневыми кубитами. Вследствие спин-зависимого цикла фотолюминесценции оптическая накачка центров приводит к возникновению спинового квадрупольного заселенности состояний с проекцией спина  $\pm 1/2$  и  $\pm 3/2$  на гексагональную ось становятся различными. Традиционным способом управления спиновой поляризацией центров является приложение к системе внешнего радиочастотного магнитного поля,

вызывающего переходы между спиновыми подуровнями [1].

В данной работе предложен альтернативный способ управления спиновым состоянием центров окраски, основанный их взаимодействием с акустическими колебаниями. Построен эффективный гамильтониан, описывающий взаимодействие дефектов со спином  $3/2$  с колебаниями решетки в сферическом приближении. С его помощью были рассчитаны времена спин-решеточной релаксации в объемном кристалле, обусловленные однофононными и рамановскими процессами. Из их сопоставления с экспериментально измеренной температурной зависимостью скорости спиновой релаксации определена константа деформационного спин-решеточного взаимодействия.

Описана теоретически спин-оптомеханическая система, представляющая собой механическую мембрану из карбида кремния, в центре которой созданы спиновые центры [2]. Рассчитаны времена спиновой релаксации и спектры оптически детектируемого магнитного резонанса в такой системе. Показано, что при магнитных полях, соответствующих совпадению энергии спинового перехода с частотой механической моды мембраны, происходит ускорение спиновой релаксации, приводящее к резкому изменению интенсивности фотолюминесценции центров. В условиях такого спин-механического резонанса также реализуется эффективный оптомеханический разогрев или охлаждение колебательных мод: заселенность механической моды, установившаяся в присутствии оптической накачки, может сильно отличаться от ее равновесного значения.

Идея оптически детектируемого спин-механического резонанса была реализована нами в системе, представляющей собой ансамбль спиновых центров, расположенных вблизи поверхности кристалла, которые взаимодействуют с поверхностной акустической волной, возбуждаемой пьезоэлектрическими преобразователями [3].

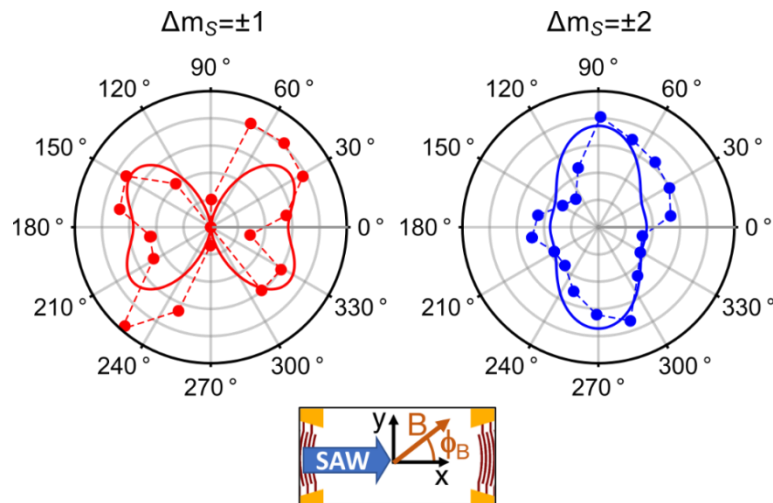


Рис. 1. Зависимость интенсивности спиновых переходов с изменением проекции спина на  $\pm 1$  и  $\pm 2$  от угла между магнитным полем и направлением распространения поверхностной акустической волны [3]. Экспериментальные данные показаны точками, соединенными пунктирной линией. Сплошная кривая представляет собой результат расчета без подгоночных параметров

Путем изменения внешнего магнитного поля можно добиться совпадения расстояния между парой спиновых уровней с частотой акустической волны. При этом акустическая волна индуцирует спиновые переходы, которые приводят к изменению интенсивности фотолюминесценции, наблюдаемому в эксперименте. Установлено, что поверхностная акустическая волна может индуцировать переходы с изменением проекции спина на  $\pm 1$  или  $\pm 2$ . Необходимо отметить, что при помощи радиочастотного магнитного поля возможно лишь возбуждение переходов с изменением проекции спина на  $\pm 1$ . Таким образом, использование поверхностных акустических волн открывает новые возможности

манипуляции состоянием центра со спином  $3/2$ .

Проанализирована зависимость интенсивности спин-механического резонанса от угла между магнитным полем и направлением распространения поверхностной акустической волны, см. рис. 1. Показано, что, когда магнитное поле перпендикулярно направлению распространения волны, возбуждаются лишь переходы с изменением проекции спина на  $\pm 2$ , а когда они параллельны, доминируют переходы с изменением проекции спина на  $\pm 1$ . Таким образом, путем выбора определенного направления магнитного поля спиновые переходы можно возбуждать избирательно. В эксперименте спиновые центры взаимодействовали со стоячей поверхностной акустической волной. Разработанная теория предсказывает, что использование бегущей поверхностной волны сделает возможной реализацию кирального спин-механического резонанса, при котором интенсивность фотолуминесценции центров будет меняться при изменении направления распространения волны или направления магнитного поля на противоположное.

#### References:

- [1]. V. A. Soltamov, C. Kasper, A.V. Poshakinskiy, A.N. Anisimov, E.N. Mokhov, A. Sperlich, S.A. Tarasenko, P.G. Baranov, G.V. Astakhov, V. Dyakonov, Nature Commun. 10, 1678 (2019).
- [2]. A.V. Poshakinskiy and G.V. Astakhov, Phys. Rev. B 100, 094104 (2019).
- [3]. A. Hernández-Mínguez, A.V. Poshakinskiy, M. Hollenbach, P.V. Santos, and G.V. Astakhov, Phys. Rev. Lett. 125, 107702 (2020).