

кожи являются хемосигналами социальной коммуникации и имеют ряд преимуществ перед такими каналами коммуникации, как речь, прикосновение, биологическое движение и мимика.

В работе с помощью методов спектроскопии затухания излучения в резонаторе (далее ЗИР), а также рамановской спектроскопии сверхвысокого изотопического разрешения, которые обеспечивают на порядок более низкий порог обнаружения и лучшее быстродействие, чем альтернативные методы измерений, были изучены вещества-индикаторы стресс состояний. Этим обусловлена актуальность применений для высокочувствительного спектрального анализа состава выдыхаемого воздуха. Привлекательной стороной диагностики, основанной на анализе химического состава выдыхаемого воздуха, является возможность исследовать процессы, происходящие в живом организме без вторжения в него, т. е. неинвазивно, и в реальном времени.

В результате исследований молекулярных метаболитов в выдыхаемом воздухе здорового человека в покое идентифицированы кортизол, оксикетоны, главным образом 1-гидрокси-пропанона-2 (ацетол), альдегиды (деценаль, бензальдегид), ацетофенон, фенол и жирные кислоты. При выполнении физической нагрузки (окислительный стресс) содержание кетонов (гептанон-2, гептанон-3), фенола и идентифицированных альдегидов (деценаль, октадеценаль) и ацетола в выдыхаемом воздухе обследованных достоверно снижалось. Показано, что динамика концентраций насыщенных углеводов в выдыхаемом воздухе может быть информативным показателем для оценки реакции организма на окислительный стресс, а уровень ацетола использован и в качестве индикатора тренированности человека, и как показатель развития гипоксических состояний.

Список литературы

1. Grishkanich, A., Chubchenko, Y., Elizarov, V., Zhevnikov, A., & Konopelko, L. SRS-sensor $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ isotops measurements for detecting *Helicobacter Pylori* //Optical Fibers and Sensors for Medical Diagnostics and Treatment Applications XVIII. – International Society for Optics and Photonics, 2018. – Т. 10488. – С. 104881A.;

Многочастотный оптически детектируемый магнитный резонанс нулевого поля в азотно-вакансионных центрах в кристалле алмаза

Дмитриев А. К.¹, Вершовский А. К.¹

¹ФТИ

Эл. почта: alexdmk777@gmail.com

Применение методик ОДМР к отрицательно заряженным NV центрам в кристаллах алмаза позволило создать новые методы как прецизионного измерения магнитных полей с субмиллиметровым пространственным разрешением [1, 2], так и контроля электронных и ядерных спинов. Задача манипуляции последними представляет особый интерес

для квантовой обработки информации. Обычно она решается в сильных магнитных полях B , в которых происходит пересечение уровней возбужденного ($B \approx 50$ мТл) и основного ($B \approx 100$ мТл) состояния [3].

В [4], в частности, было осуществлено возбуждение многочастотного (с использованием оптической накачки, излучения сверхвысокой частоты – СВЧ и высокой частоты – ВЧ) ОДМР в сильном поле $B \approx 50$ мТл.

В данной работе была предпринята попытка возбудить многочастотный ОДМР [2] в NV центрах в слабых (порядка земного) и нулевых магнитных полях. Структура энергетических уровней NV центра в слабых полях существенно сложнее, чем в сильных; она содержит ряд пересечений и антипересечений, а зависимость энергии уровней от магнитного поля и соответствующих им частот f_{SS} , f_{II} существенно нелинейна [5]. (Обозначения здесь и далее: f_{SS} , f_{II} – частоты переходов с изменением проекций m_S и m_I электронного и ядерного спина соответственно; конфигурация терма при этом обозначается $|m_S, m_I\rangle$. Если в состав NV центра входит атом ^{14}N , то $m_S = 0, \pm 1$ и $m_I = 0, \pm 1$).

Возбуждение многочастотного ОДМР в нашем эксперименте осуществлялось посредством введения в стандартную схему, помимо СВЧ поля f_{UHF} , дополнительного ВЧ поля f_{HF} , резонансного переходом между ядерными подуровнями одного электронного терма в магнитных полях $B = 0 \div 1$ мТл. Таким образом мы рассчитывали при одновременном выполнении условий $f_{UHF} = f_{SS}$, $f_{HF} = f_{II}$ воздействовать на населенности ядерных подуровней.

Однако эксперимент показал, что в спектре многочастотных резонансов доминирует резонанс, возникающий при одновременном выполнении достаточно нетривиальных условий

$$\begin{aligned} f_{HF} &\approx \Delta_1, \\ f_{UHF} \pm \frac{1}{2}f_{HF} &= D_{gs}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $D_{gs} \approx 2.87$ ГГц – константа продольного расщепления, а $\Delta_1 = (5.6 \pm 0.2)$ МГц. Ширина резонанса равна (1.4 ± 0.2) МГц. Второй, более узкий и слабый резонанс наблюдался при

$$\begin{aligned} f_{HF} &= \Delta_2, \\ f_{UHF} &\approx D_{gs}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $\Delta_2 = (3.0 \pm 0.2)$ МГц.

Детальный расчет схемы энергетических уровней для данного кристалла показал, что Δ_1 соответствует частоте перехода $|-1, \pm 1\rangle \leftrightarrow |+1, \pm 1\rangle$ при $B = 0$, а Δ_2 – частоте перехода $|1, 0\rangle \leftrightarrow |1, \pm 1\rangle$ при $B = 0$. Таким образом, Δ_1 – это масштаб антипересечения уровней в нулевом поле.

Нами предложено объяснение наблюдавшегося эффекта, заключающееся в том, что неоднородное магнитное поле кристалла случайным образом смещает действующее на отдельный NV центр продольное локальное поле B_L на величину порядка $0 \div 0.1$ мТл; резонансы в окрестности частоты Δ_1 возникают, когда в локальном поле B_L частота СВЧ поля f_{UHF} равна частоте перехода $|0, \pm 1\rangle \leftrightarrow |+1, \pm 1\rangle$, а частота ВЧ поля f_{HF} равна частотному масштабу антипересечения уровней $|-1, \pm 1\rangle \leftrightarrow |+1, \pm 1\rangle$. В слабых полях сдвиг частот ВЧ переходов магнитным полем равен удвоенному сдвигу частот соответствующих СВЧ переходам, что и приводит к необходимости выполнения условия (1). По сходной

схеме, но с участием уровня $|\pm 1,0\rangle$ образуются резонансы второго обнаруженного нами типа – в окрестности частоты Δ_2 .

Мы предполагаем, что резонансное ВЧ поле выводит уровни, соответствующие суперпозиции «чистых» состояний, из взаимодействия с СВЧ полем, но конкретный механизм взаимодействия требует дальнейшего исследования.

Список литературы

1. J.M. Taylor, P. Cappellaro, L. Childress, L. Jiang, D. Budker, P.R. Hemmer, A. Yacoby, R. Walsworth, M.D. Lukin, High-sensitivity diamond magnetometer with nanoscale resolution, *Nature Physics*, 4, 810, 2008;
2. A.K. Dmitriev, A.K. Vershovskii, Concept of a microscale vector magnetic field sensor based on nitrogen-vacancy centers in diamond, *JOSA B.*, v.33, no.3, pp. B1-B4, 2016;
3. L. Childress, M.V. Gurudev Dutt, J.M. Taylor, A.S. Zibrov, F. Jelezko, J. Wrachtrup, P.R. Hemmer, M.D. Lukin, Coherent dynamics of coupled electron and nuclear spin qubits in diamond, *Science*, 314, 281, 2006;
4. L. Childress, J McIntyre, Multifrequency spin resonance in diamond, *Physical Review*, A 82, 033839, 2010;
5. H. Clevenson, E. H. Chen, F. Dolde, C. Teale, D. Englund, D. Braje, Diamond nitrogen vacancy electronic and nuclear spin-state anti-crossings under weak transverse magnetic fields, *Physical Review*, A 94, 021401, 2016.

Исследование изменения знака нелинейно-оптического отклика электрооптического кристалла ниобата лития в условиях некогерентной фоновой подсветки

Пустозеров А.В, Перин А. С. Шандаров В. М.

ТУСУР

Эл. почта: extomsk@gmail.com

При распространении световых пучков в нелинейно оптических средах возникают эффекты самовоздействия, которые позволяют реализовывать режимы пространственных оптических солитонов и создавать в среде волноводные оптические элементы [1, 2]. В настоящее время электрооптические кристаллы ниобата лития (LiNbO_3) привлекают повышенный интерес, поскольку за счет его фоторефрактивных свойств такие эффекты могут наблюдаться при малых интенсивностях светового поля. Введение дополнительных легирующих добавок, например, ионов железа или меди, позволяет варьировать фоторефрактивные характеристики в широких пределах, в том числе характерное время нелинейного отклика [3]. Для LiNbO_3 характерен нелинейный самодефокусирующий фоторефрактивный отклик, при котором показатель преломления материала уменьшается в освещенной области, что обусловлено фотовольтаическим механизмом транспорта носителей заряда. В этом случае в данном кристалле можно сформировать лишь темные