

Наблюдение коллективных возбуждений в квазидвумерных электронных системах на основе гетероструктур ZnO/MgZnO с помощью резонансного комбинационного рассеяния света

А.Б. Ваньков^{1,2}, Б.Д. Кайсин^{1,2}

¹Институт физики твёрдого тела РАН

²Московский физико-технический институт (государственный университет)

Недавний прорыв в технологии производства гетероструктур[1,2] на основе материала ZnO открыл широкие перспективы для фундаментального изучения физики электронных корреляций в двумерных электронных системах. Из-за довольно большой эффективной массы электронов и уменьшенной диэлектрической проницаемости по сравнению с GaAs/AlGaAs гетероструктурами, квазидвумерная электронная система в структурах ZnO/MgZnO характеризуется высоким параметром взаимодействия, достигающим $r_s \sim 15$, и сравнимыми по величине Зеемановской и циклотронной энергиями. Высокая электронная подвижность (10^5 - 10^6 см²/В*с)[3], в данного рода системах, позволила наблюдать множество коллективных явлений таких как сильная перенормировка спиновой восприимчивости и эффективной массы, дробный квантовый эффект Холла с необычными полуцелыми факторами заполнения[4]. Понижение плотности электронов позволяет реализовать пересечение уровней Ландау и, как следствие, Стонеровскую неустойчивость[5].

В данной работе метод резонансного неупругого рассеяния света(НРС) был применён для изучения возбуждений в квазидвумерной электронной системе на основе гетероструктур ZnO/MgZnO. Эксперимент проводился на ряде образцов(таблица 1). Спектр НРС межподзонных и внутривидовых коллективных возбуждений был получен при резонансных условиях накачки, вблизи линий фотолуминесценции(PL). Для определения Рамановской природы линии, спектры записывались с изменением длины волны лазера, наиболее характерный вид представлен на рис.1. На вставке показан спектр волны зарядовой плотности(CDE) и континуума одночастичных возбуждений(SPE), при фиксированной длине волны лазера. Межподзонные волны зарядовой(CDE) и спиновой(SDE) плотности были идентифицированы с помощью поляризационных тестов, в которых рассеянный и накачивающий свет были поляризованы параллельно и перпендикулярно друг другу(рис.2). Была измерена дисперсия данных мод, а также дисперсия двумерного внутривидового плазмона(рис.3) которая хорошо согласуется с корневым законом. В широком диапазоне концентрации двумерных электронов были измерены энергии коллективных и одночастичных возбуждений (рис.4а). Энергии коллективных межподзонных возбуждений имеют вклады плазменного(деполяризационного) и экситонного типа. Для возбуждений зарядовой и спиновой плотности различается структура многочастичных вкладов – экситонный вклад имеется в обоих возбуждениях, а деполяризационный – только в зарядовом возбуждении. Качественно структура этих возбуждений может быть записана следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} E_{SDE}^2 &= E_{10}^2 - E_{exc}^2 \\ E_{CDE}^2 &= E_{10}^2 - E_{exc}^2 + E_{dep}^2 \end{aligned}$$

где E_{SDE} энергия SDE, E_{CDE} энергия CDE, E_{10} разница энергий между первой и нулевой подзоной размерного квантования(вставка на рис. 4а), E_{exc} экситонный вклад, E_{dep} деполяризационный вклад, были получены энергии E_{exc} и E_{dep} (рис.4б) Таким образом, установлено что в данной системе с сильным электрон-электронным взаимодействием отрицательный экситонный вклад превосходит энергию деполяризационного сдвига.

Sample ID	n_s (10^{11} cm^{-2})	μ_t ($10^3 \text{ cm}^2/\text{V s}$)
254	1.1	?
259	1.8	?
244	2.3	400
427	2.8	427
426	3.5	410
448	4.5	250
466	4.8	250
302	6.5	200
479	11.2	80

Таблица 1. Параметры двумерной электронной системы в исследуемых образцах

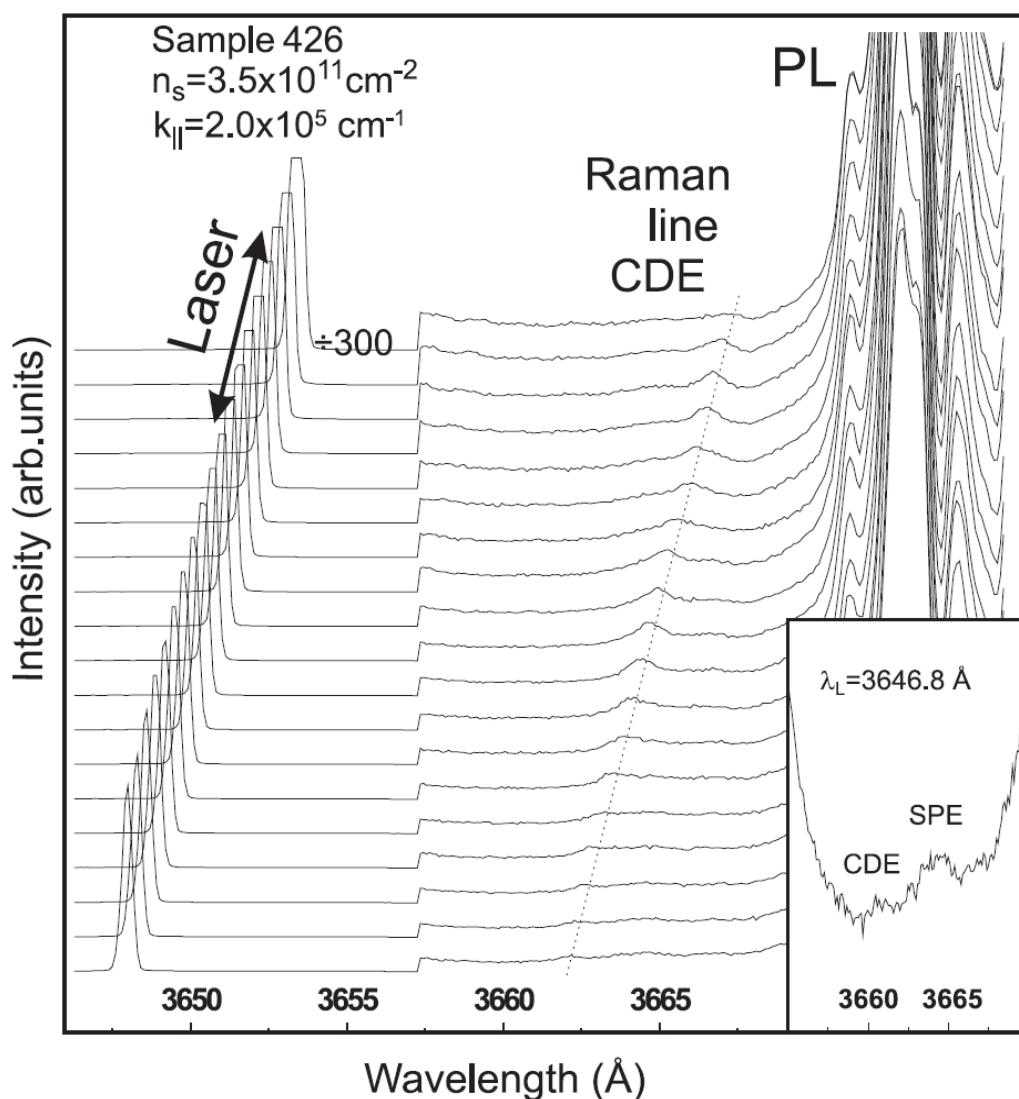


Рис.1. Эволюция спектральных линий с изменением длины волны лазера, на вставке изображён спектр CDE и SPE при фиксированной длине волны лазера

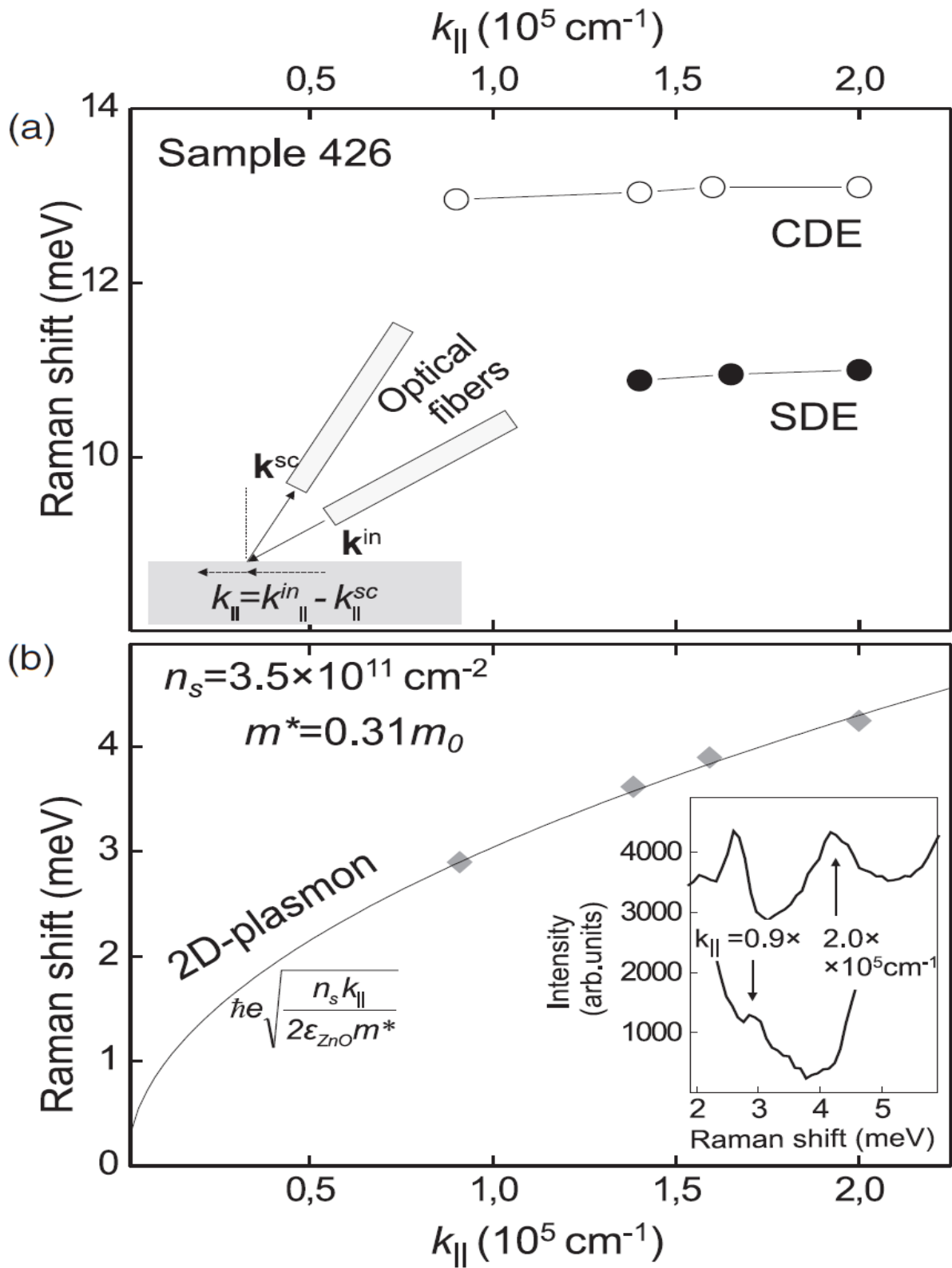


Рис2. Дисперсия а) CDE и SDE, б) двумерного плазмона, на вставке показан спектр плазмона при двух различных импульсах.

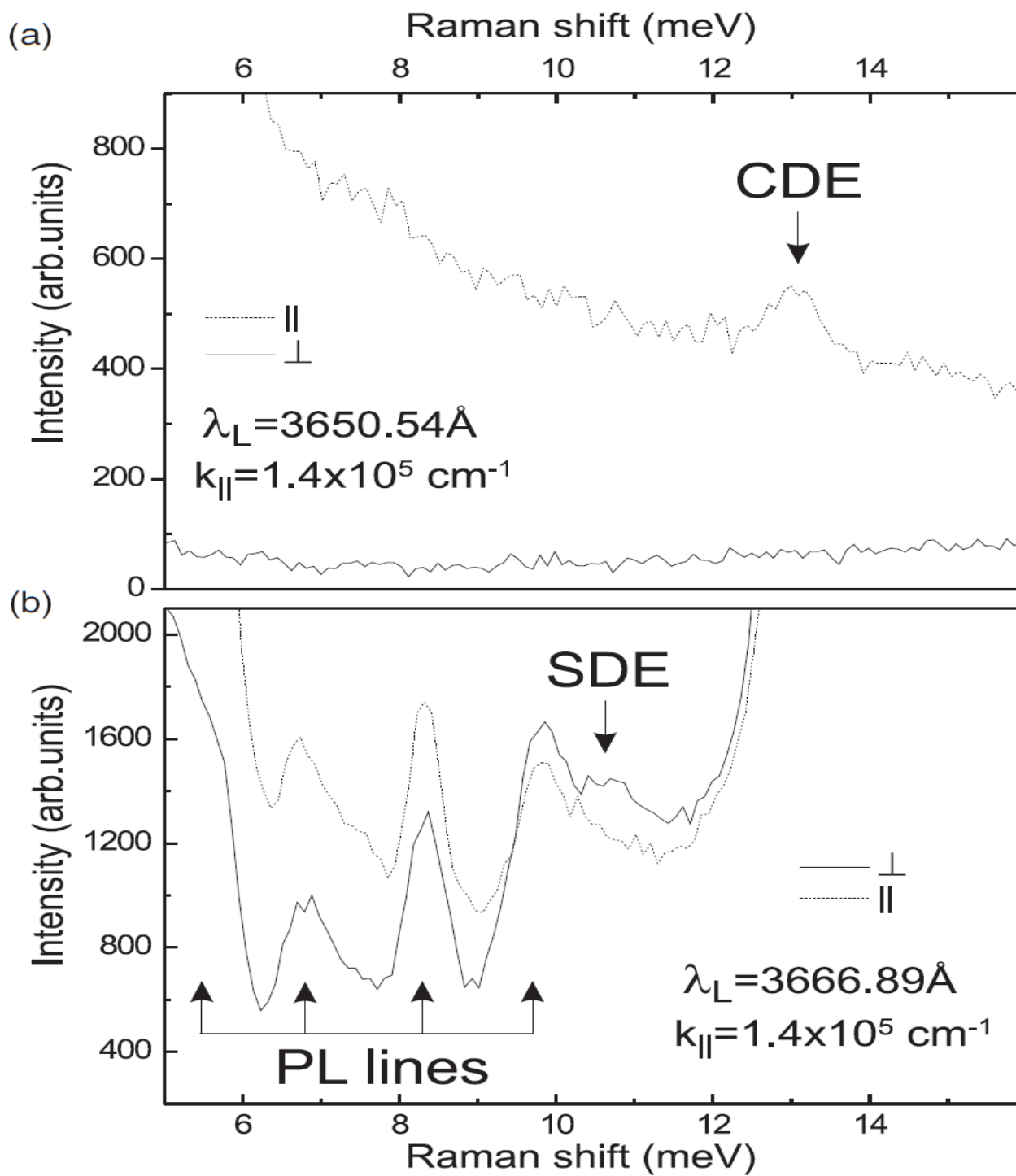


Рис.3 Спектр волн а)зарядовой и б)спиновой плотности в поляризационном тесте. Пунктирная линия соответствует параллельной, а сплошная-перпендикулярной поляризации накачивающего и рассеянного света.

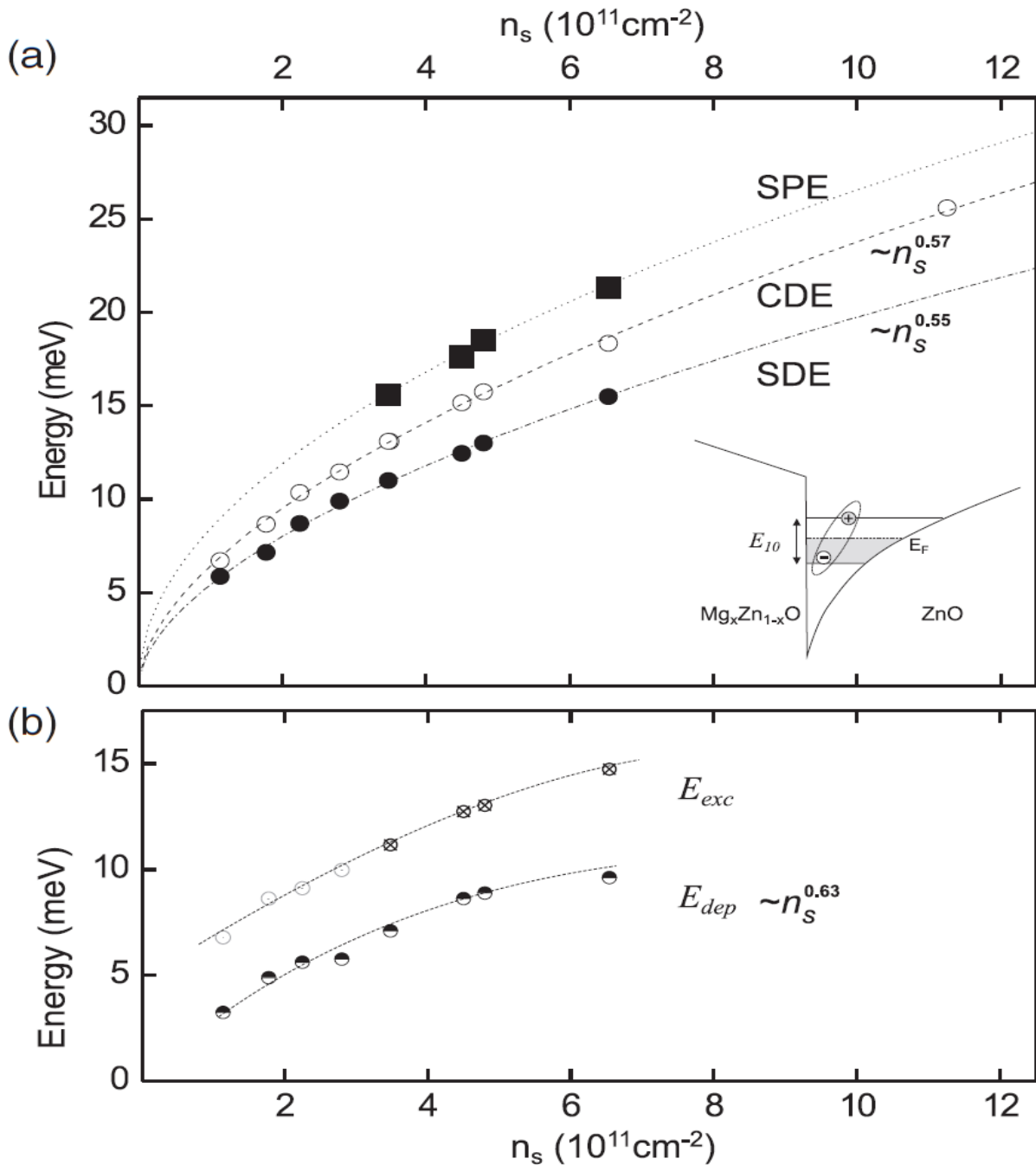


Рис.4 а) энергии SPE, CDE и SDE в зависимости от концентрации двумерных электронов б) экситонный и деполяризационный вклады в энергии коллективных возбуждений.

Литература

1. Y. Kozuka, A. Tsukazaki, and M. Kawasaki, Applied Physics Reviews, 1, 011303 (2014).
2. J. Falson, D. Maryenko, Y. Kozuka, A. Tsukazaki and M. Kawasaki, Applied Physics Express 4, 091101 (2011).
3. J. Falson, Y. Kozuka, J. H. Smet, T. Arima, A. Tsukazaki and M. Kawasaki, Applied Physics Letters 107, 082102 (2015).
4. J. Falson, D. Maryenko, B. Friess, D. Zhang, Y. Kozuka, A. Tsukazaki, J. H. Smet and M. Kawasaki, Nature Physics 11, 347 (2015).
5. Y. Kozuka, A. Tsukazaki, D. Maryenko, J. Falson, C. Bell, et al., Phys.Rev.B 85, 075302 (2012).