

**Резонансный вклад краевых состояний в генерацию второй гармоники в монослоях дихалькогенидов переходных металлов**В.В. Еналдиев<sup>1,2</sup><sup>1</sup>Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН<sup>2</sup>Лаборатория оптоэлектроники двумерных материалов, Московский физико-технический институт (государственный университет)

Изучение оптических свойств монослоёв дихалькогенидов переходных металлов (ДПМ), таких как  $\text{MoS}_2$ ,  $\text{MoSe}_2$ ,  $\text{MoTe}_2$ ,  $\text{WS}_2$ ,  $\text{WSe}_2$ ,  $\text{WTe}_2$ , является одной из «горячих» тем современной физики твердого тела благодаря перспективам использования указанных материалов в качестве элементной базы для оптоэлектронных устройств нового поколения. Монослои ДПМ являются прямозонными полупроводниками, ширина запрещенной зоны которых лежит в видимом и инфракрасном диапазоне частот [1]. На частотах, соответствующих краю поглощения, оптический отклик указанных материалов определяется экситонными резонансами. Однако, в недавних экспериментах [2] было получено резонансное усиление генерации второй гармоники вблизи края мембран  $\text{MoS}_2$  на частотах около полуширины запрещенной зоны. Этот эффект авторы интерпретировали в терминах краевых состояний, которые существуют в запрещенной зоне. Также было предложено использовать кристаллы ДПМ, состоящие из нескольких монослоёв, в качестве насыщаемых поглотителей для волоконных лазеров [3,4], благодаря существенному вкладу в поглощение на частотах меньших ширины запрещенной зоны материалов, которые лежат в окнах прозрачности оптоволокна. Ненулевой вклад в поглощение на указанных частотах объяснялся существованием краевых состояний (КС) в запрещенной зоне кристаллов. Поэтому построение теории КС в монослоях ДПМ является актуальной задачей.

В настоящей работе построена теория краевых состояний (КС) в монослоях ДПМ в приближении огибающих волновых функций и показано, как КС проявляются в нелинейном оптическом отклике. В отсутствие спин-орбитального взаимодействия и запутывания долин на краю, КС имеют линейный закон дисперсии, описываемый всего одним феноменологическим параметром, характеризующим структуру края. Знак данного параметра определяет пересекают ли энергии КС запрещенную зону материала или нет. Показано, что генерация второй гармоники резонансно усиливается в том случае, когда энергии КС пересекают запрещенную зону, что согласуется с экспериментальными данными [2]. В силу того, что резонансная частота второй гармоники определяется феноменологическим параметром теории, то его значение можно извлечь из экспериментально наблюдаемой частоты резонанса.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект №16-32-0655) и Министерства образования и науки (программа «5 Топ 100»).

**Литература**

1. *Kormanyos A.* [et al.] k-p theory for two-dimensional transition metal dichalcogenide semiconductors // 2D Materials 2015. V.2, P.022001.
2. *Yin X.* [et al.] Edge Nonlinear Optics on a  $\text{MoS}_2$  Atomic Monolayer // Science 2014. V.344, P.488.
3. *Zhang M.* [et al.] Yb- and Er-doped fiber laser Q-switched with an optically uniform, broadband  $\text{WS}_2$  saturable absorber // Sci. Rep. 2015. V.5, 17482 (2015).
4. *Woodward R.I.* [et al.] Tunable Q-switched fiber laser based on saturable edge-state absorption in few-layer molybdenum disulfide ( $\text{MoS}_2$ ) // Opt. Expr. 2014. V.22, P.31113