

Резонансное туннелирование с участием фотонов и поверхностных плазмонов в гетероструктурах на основе графенаА.Н.Былинкин^{1,2}, Д.А.Свинцов^{1,2}¹Лаборатория оптоэлектроники двумерных материалов. Московский физико-технический институт (ГУ)

Ван - дер - ваальсовы гетероструктуры, состоящие из чередующихся слоев графена и халькогенидов переходных металлов, являются платформой для создания новых нанoeлектронных приборов на основе резонансного туннелирования безмассовых электронов [1]. Процессы упругого туннелирования в данных структурах изучены достаточно полно [2], чего нельзя сказать о неупругом туннелировании с участием фотонов и поверхностных плазмонов. Между тем, указанные процессы могут стать основой для создания компактных и перестраиваемых источников и детекторов излучения терагерцового и дальнего инфракрасного диапазона [3,4].

В данной работе развиты теории неупругого туннелирования с участием фотонов и поверхностных плазмонов в структурах «графен-диэлектрик-графен» в присутствии электрического напряжения между слоями [5]. Приложение напряжения создает инверсную заселенность между электронными состояниями в соседних слоях, при этом туннельные переходы с испусканием фотонов и поверхностных плазмонов доминируют над переходами с поглощением. Частотные зависимости туннельной проводимости структур «графен-диэлектрик-графен» обнаруживают ряд особенностей, отличающих их от гетероструктур на основе соединений A_3B_5 . Так, из-за неизбежной разориентировки кристаллических решеток графена в соседних слоях высокочастотная проводимость имеет два резонансных пика, соответствующих усиленному туннелированию между спиральными электронными состояниями с коллинеарными импульсами. С практической точки зрения важно, что коэффициенты усиления терагерцовых фотонов и поверхностных плазмонов благодаря резонансному туннелированию могут превосходить коэффициенты потерь, вызванные друдевским и межзонным поглощением в графене. Данные факты вкпе с недавно обнаруженной электролюминесценцией в структурах «графен-диэлектрик-графен» подтверждают возможность создания терагерцовых лазеров и спазеров на основе резонансного туннелирования в графене.

1. *Geim A. K., Grigorieva I. V.* Van der Waals heterostructures //Nature. – 2013. – Т. 499. – №. 7459. – С. 419-425;
2. *Brey L.* Coherent tunneling and negative differential conductivity in a graphene/h-bn/graphene heterostructure //Physical Review Applied. – 2014. – Т. 2. – №. 1. – С. 014003;
3. *Massicotte M. et al.* Picosecond photoresponse in van der Waals heterostructures //Nature nanotechnology. – 2016. – Т. 11. – №. 1. – С. 42-46;
4. *Ryzhii V. et al.* Injection terahertz laser using the resonant inter-layer radiative transitions in double-graphene-layer structure //Applied Physics Letters. – 2013. – Т. 103. – №. 16. – С. 163507;
5. *Svintsov D. et al.* Plasmons in tunnel-coupled graphene layers: Backward waves with quantum cascade gain//Physical Review B. – 2016. – Т. 94. – №. 5. – С. 115301.