

О механизмах ТГц генерации в гетероструктурном $p-i-n$ диоде $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$

Трухин В.Н.¹, Малевич В.Л.^{3,4}, Калиновский В.С.¹, Мустафин И.А.¹, Контрош Е.В.¹, Fan X.²,
Прудченко К.К.¹

¹ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН, 603950, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 26

²Университет ИТМО, 603950, 197101, г. Санкт-Петербург, Кронверкский проспект, д.49, лит. А

³Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 220013, Республика Беларусь, г. Минск, ул. П. Бровки, 6.

⁴Институт физики имени Б. И. Степанова Национальной академии наук Беларуси, 220072, Республика Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости, 68-2

В настоящей работе представлены результаты экспериментального исследования и моделирования методом Монте-Карло процесса генерации терагерцового излучения гетероструктурными $p-i-n$ диодами $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ при возбуждении фемтосекундными оптическими импульсами. Процесс терагерцовой генерации изучался методом терагерцовой спектроскопии с временным разрешением.

На основе полученных результатов, было показано, что при изменении прикладываемого обратного смещения к $p-i-n$ диодам $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ происходит смена механизма ТГц генерации. При положительном смещении напряженность электрического поля в i -слое мала и преобладающий вклад в фототок обусловлен отражением фотовозбужденных электронов от границы $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/n^0\text{-GaAs}$, так называемый «реактивный» эффект [1]. Для данного механизма формирования фототока характерна большая крутизна переднего фронта импульса фототока и, соответственно, малая задержка терагерцового импульса относительно возбуждающего оптического импульса. При электрических полях <10 кВ/см (обратное смещение <-0.5 В) механизм ТГц генерации меняется и определяется эффектом экранирования внутреннего электрического поля фотовозбужденными носителями тока. При таком электрическом поле фотовозбужденный электрон за время импульсной релаксации не успевает набрать энергию для перехода в L -долину с большей эффективной массой электронов. Эффект экранирования приводит к спаду фототока. Скорость фотоэлектрона будет максимальной в момент времени, когда существенно начнет изменяться электрическое поле за счет эффекта экранирования. Этот временной момент зависит от величины электрического поля. Повышение электрического поля приводит к увеличению временной задержки максимума фототока, соответственно и ТГц импульса, так как для экранирования такого электрического поля требуется больше времени для пространственного разделения электронов и дырок. Дальнейшее повышение обратного смещения до -2 В, (соответственно, увеличение электрического поля до 22 кВ/см) приводит к очередной смене механизма ТГц генерации за счет проявления эффекта «velocity overshoot» в нижней области i -слоя, где начальное электрическое поле меньше экранируется. Формирование импульса фототока в данном случае обусловлено ускорением электронов в электрическом поле до скорости, значительно превышающей скорость насыщения на временах сотен фемтосекунд, и последующего резкого спада, связанного с междолинным переходом электронов из Γ -долины. Начало проявления эффекта «velocity overshoot» зависит от длины волны оптического излучения. При электрическом поле >22 кВ/см ТГц генерация в $p-i-n$ диоде происходит за счет эффекта «velocity overshoot» во всей области i -слоя. Повышение обратного смещения приводит к уменьшению временной задержки фототока, соответственно и ТГц импульса. Сдвиг максимума фототока и ТГц импульса при изменении обратного смещения от -2 В до -8 В составляет порядка 100 фс.

[1] В.И. Белиничер, С.М. Рывкин, ЖЭТФ, 81 (1), 353 (1981)