

## **Полная компенсация потерь поверхностных плазмонов в гибридных волноводах при электрической накачке**

Д.А. Свинцов<sup>1</sup>, Д.Ю. Федянин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет)

Одной из ключевых проблем, препятствующих росту производительности современных процессоров, являются значительные задержки при передаче сигналов по металлическим межсоединениям. Возможным решением проблемы является замена традиционных медных межсоединений на оптические или плазмонные. Межсоединения на основе плазмонных волноводов могут масштабироваться до глубоко субмикронных размеров, при этом они не уступают своим «фотонным аналогам» в быстродействии [1]. Однако использование плазмонов в качестве переносчиков информации требует компенсации потерь, возникающих вследствие поглощения электромагнитной энергии в металле.

В данной работе мы предлагаем и моделируем структуру активного гибридного плазмонного волновода, в котором компенсация потерь основана на создании инверсной населенности и оптического усиления в полупроводнике при электрической накачке. Предлагаемая структура состоит из металла (медь), туннельно прозрачного слоя диэлектрика (оксид цинка) и полупроводниковой гетероструктуры из р-легированного  $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$  на подложке  $\text{InP}$ . Инжекция неосновных носителей – электронов – происходит из металла через тонкий слой оксида в арсенид индия-галлия, где происходит их рекомбинация с дырками с испусканием поверхностных плазмонов.

Проведенное нами численное моделирование структуры  $\text{Cu} / 3 \text{ нм ZnO} / 200 \text{ нм In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}/\text{InP}$ , основанное на самосогласованном решении уравнений Пуассона и электрон-дырочного транспорта, показывает возможность компенсации потерь плазмонов при комнатной температуре и рабочем токе в  $1.8 \text{ кА/см}^2$  (рис. 1). Эта величина сравнима с рабочим током инжекционных полупроводниковых лазеров и значительно ниже тока компенсации потерь в плазмонных усилителях на основе диодов Шоттки [2]. Рекордно низкие значения тока в предложенной структуре достигаются благодаря локализации неравновесных носителей в узкой (200 нм) области полупроводника, перекрывающейся с областью сильного поля плазмона. Локализация инжектированных электронов в слое арсенида индия-галлия происходит благодаря наличию гетеробарьера на границе  $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}/\text{InP}$ . С другой стороны, блокирование тока основных носителей в металл возможно благодаря большому (1.75 эВ) разрыву зоны проводимости на границе  $\text{ZnO}/$

$\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$  [3]. Высота барьера для туннельной инжекции электронов в полупроводник при этом значительно ниже и составляет всего лишь 0.6 эВ.

Энергия плазмонов, для которых возможна компенсация потерь, составляет  $\hbar\omega \approx 0.83$  эВ и соответствует «телекоммуникационному диапазону» (длина волны фотона той же энергии  $\lambda \approx 1.5$  мкм попадает в окно прозрачности оптоволокна). Моделирование работы волновода при конечной мощности распространяющегося плазмона (рис. 1) показывает, что ток полной компенсации потерь возрастает на  $0.8 \text{ кА/см}^2$  при увеличении мощности на каждые 10 мкВт.

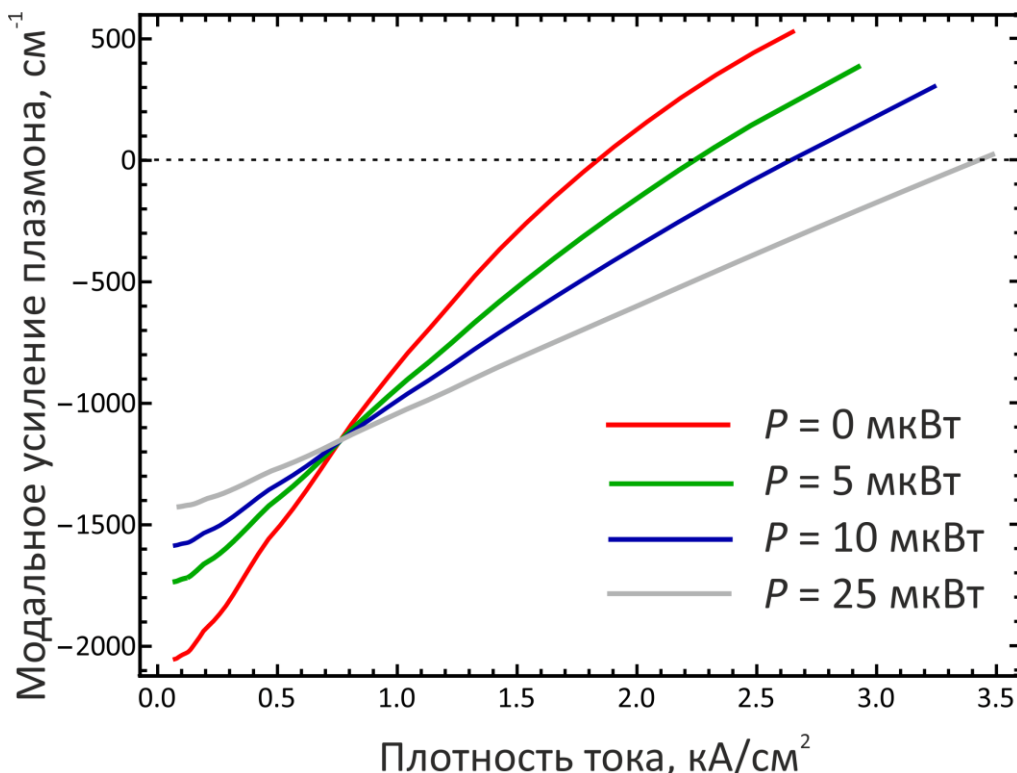


Рис. 1. Зависимость модального усиления плазмона от плотности тока накачки в структуре активного плазмонного волновода  $\text{Cu}/3 \text{ нм ZnO}/200 \text{ нм In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}/\text{InP}$  при комнатной температуре. Штриховой линией обозначен уровень нулевых потерь

#### Литература

1. Conway J. A., Sahni S., Szkopek T. Plasmonic interconnects versus conventional interconnects: a comparison of latency, crosstalk and energy costs. – Optics Express – 2007 – Т. 15 – С. 4474-4484.
2. Fedyanin D. Y., Krasavin A. V., Arsenin A. V., Zayats A. V. Surface plasmon polariton amplification upon electrical injection in highly integrated plasmonic circuits. – Nano Letters – 2012 – Т. 12 – С. 2459-2463.
3. Agrawal A. et al. A unified model for insulator selection to form ultra-low resistivity metal-insulator-semiconductor contacts to n-Si, n-Ge, and n-InGaAs. – Applied Physics Letters. – 2012 – Т. 101. – С. 042108.