

Плазмоника с низкими потерями на основе меди

В. Волков^{1,2,*}, Д. Якубовский¹, Ю. Стебунов¹, Д. Федянин¹, А. Арсенин¹

¹Лаборатория Нанооптики и Плазмоники, Московский Физико-Технический Институт, Долгопрудный, Россия

²SDU Nano Optics, University of Southern Denmark, Odense M, Denmark

*E-mail: vsv@mci.sdu.dk

DOI:10.31868/RFL2018.19-20

Нанофотоника - область исследований, связанная с разработкой наноструктурированных материалов с новыми оптическими свойствами, и созданием на их основе фотонных устройств. Это направление науки работает в том числе над тем, чтобы заменить существующие в вычислительных устройствах компоненты на более совершенные за счет использования фотонов вместо электронов. Наиболее перспективным решением для достижения этих целей представляется переход от объемных оптических волн к поверхностным плазмон-поляритонам (ППП). Последние являются поверхностными (квази-двумерными) волнами, распространяющимися вдоль границы раздела металл-диэлектрик, и характеризуются более короткими длинами волн и высокой локализацией электромагнитного поля [1, 2]. Наноразмерные ППП компоненты создают на основе так называемых металл-диэлектрических наноструктур. Металл в этой системе необходим для того, чтобы был доступ к свободным электронам (так называемой электронной плазме). А диэлектрик необходим для того, чтобы обеспечить взаимодействие этой электронной плазмы с электромагнитным полем (т. е., с объёмной световой волной). В данном контексте важно отметить, что до недавнего времени считалось, что по своим фундаментальным свойствам для создания эффективных ППП наноструктур могут использоваться только два благородных металла - золото и серебро. Лабораторные прототипы практически всех нанофотонных компонент включают золотые и/или серебряные плёнки толщиной несколько десятков нанометров. Причины этому — отличные оптические свойства этих металлов (а в случае золота также и его высокая химическая стабильность). Но у благородных металлов есть и серьёзные недостатки. Во-первых, их высокая стоимость. Если сравнивать высокочистые материалы, то золото более чем в 25 раз дороже меди. Во-вторых, золото и серебро — материалы, несовместимые с микроэлектронным производством, что делает процесс создания наноструктур дорогим и долгим и серьёзно ограничивает массовое производство устройств на их основе.

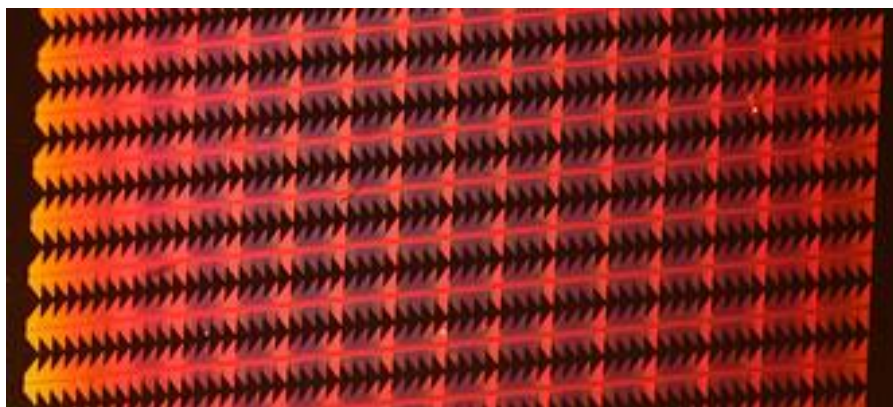


Рис. 1. Кремниевый чип с медными плазмонными компонентами.

Этих недостатков лишена медь. Она обладает оптическими свойствами не хуже золота и используется в качестве проводника электричества в современной микроэлектронике, но, что и мешало её использованию в нанопотонных устройствах, быстро окисляется. В контексте наших исследований, проблема окисляемости меди при взаимодействии с окружающей средой была решена за счёт нанесения поверх металла тонкого, всего 10 нанометров, диэлектрического слоя. Этот простой (по своей сути) технологический подход позволил нам создать нанопотонные компоненты (Рисунок 1) на основе меди, которые по своим характеристикам не уступают аналогам из благородных металлов [3]. В данном докладе будет показано, что оптические свойства таких медных плёнок, а следовательно и эффективность работы устройств, в которых они используются, зависят от многих факторов — толщины плёнки, скорости осаждения и температуры подложки, на которую осаждается плёнка. Будут представлены оптимальные начальные условия (скорость осаждения и температура подложки) для достижения наилучших оптических свойств медных плёнок, что подтверждается экспериментальными исследованиями методами спектральной эллипсометрии, рентгеновской дифрактометрии, электронной и атомно-силовой микроскопии. Полученные данные позволили детально изучить, как свойства тонких поликристаллических плёнок меди связаны с их структурой и средним размером зёрен. Примечательно, что медные нанопотонные компоненты произведены в рамках стандартного технологического процесса, используемого для производства большинства современных микросхем. Это означает, что именно такие компоненты смогут в самом ближайшем будущем стать основой для энергоэффективных источников излучения, высокопроизводительных оптоэлектронных процессоров, а также сверхчувствительных сенсоров и датчиков [4].

Литература

- [1] S.I. Bozhevolnyi, ed., *Plasmonic Nanoguides and Circuits* (Pan Stanford Publ., 2008).
- [2] R. Zia, J. A. Schuller, et al, *Materials Today* **9** (7-8), 20-27 (2006).
- [3] D. Yu. Fedyanin, D. I. Yakubovsky et al, *Nano Letters* **16**, 1, 362-366 (2016).
- [4] Y. V. Stebunov, D. I. Yakubovsky et al, *Langmuir* **34**, 15, 4681-4687 (2018).