

КОНСТРУКЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ ОПТИЧЕСКИХ МЕЖСОЕДИНЕНИЙ НА ОСНОВЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО КРЕМНИЯ

С.К. Лазарук, А.А. Лешок, В.Б. Высоцкий, В.Е. Борсенко

Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», Минск

тел/факс: +375 (17) 293-8869, эл. почта: serg@mmo.bstuir.edu.by

В настоящее время одной из актуальных проблем развития кремниевых интегральных схем, является обеспечение непрерывного и устойчивого увеличения быстродействия. Наиболее многообещающим решением этой проблемы является оптическая передача данных внутри кремниевого кристалла, что позволит устранить резистивно-емкостные задержки металлической разводки. В связи с этим нами разработана и изготовлена экспериментальная структура интегральных оптических межсоединений на кремниевом кристалле, а также исследованы ее характеристики.

Экспериментальную структуру создавали нанесением композиционной пленки алюминия с кремнием и титаном толщиной 1,0 мкм на пластины монокристаллического кремния с удельным сопротивлением 0.1 Ом·см методом магнетронного распыления соответствующих составных мишеней. В качестве материалов мишеней использовались алюминий, его сплав с содержанием кремния 40 ат. %, а также алюминиевые мишени со вставками титана. Нанесенные пленки подвергали анодной обработке в 2 % водном растворе серной кислоты через предварительно сформированную на их поверхностях фоторезистивную маску. Различные скорости анодирования алюминия и кремния обеспечивали формирование композитной пленки наноструктурированного кремния, встроенного в алюмооксидную матрицу. Преонодированные области, защищенные фоторезистивной маской, образовывали металлические электроды между проаноодированными областями.

Разработанная конструкция состоит из двух контактов Шоттки, а также из слоя анодного оксида алюминия, разделяющего алюминиевые электроды. Нижний слой анодного оксида алюминия содержит кремниевые наночастицы, излучающие свет в режиме лавинного пробоя контакта Шоттки. Один из диодов Шоттки при смещении, превышающем пороговую величину лавинного пробоя, работает как светодиод, второй при электрическом смещении менее напряжения лавинного пробоя функционирует как фотодетектор. Анодный оксид алюминия выполняет двойную роль. С одной стороны, он выполняет функции световода с сердцевинной, легированной оксидом титана, а с другой стороны, он защищает кремниевые наночастицы от атмосферного кислорода, обеспечивая стабильность светоизлучения. То есть свет, излучаемый кремниевыми наночастицами, проходит внутри слоя анодного оксида алюминия как по оптическому волноводу, в результате чего реализуется оптическая связь между светодиодом и фотодетектором.

Схематичное изображение фрагмента поперечного сечения изготовленной экспериментальной структуры интегральных оптических межсоединений представлено на рис. 1. Как уже отмечалось, сформированная структура имеет многослойную структуру волновода. Внутренняя его часть имеет показатель преломления 1,7 за счет легирования оксидом титана, что превышает аналогичный параметр для чистого оксида алюминия 1,6. Таким образом, благодаря легированию оксидом титана внутреннего слоя алюмооксидного волновода формируется сердцевина с более высоким показателем преломления, внутри которой концентрируется световой поток, что способствует уменьшению оптических потерь в волновode.

Оптические потери рассчитывали на единицу длины, для чего были проведены измерения выходного сигнала для разных длин волноводных структур (рис. 2).

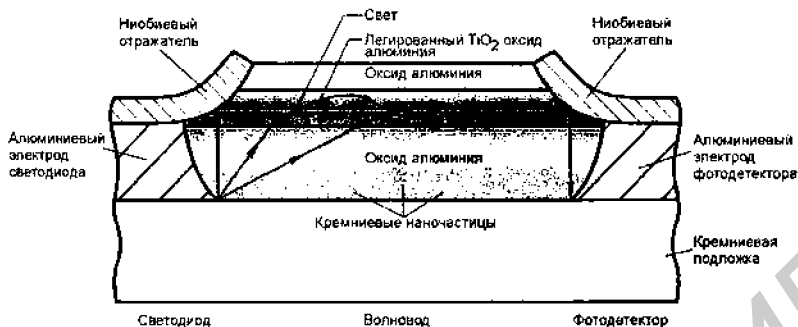


Рис. 1. Схематичное изображение конструкции экспериментальной структуры интегральных оптических межсоединений

Минимальные потери наблюдаются в случае волноводной алюмооксидной структуре, содержащей сердцевину и обладающей минимальной пористостью.

Оценка оптических потерь для лучших образцов показала, что их величина составляет 1 дБ/см. Достигнутый уровень соизмерим с результатами аналогичных исследований, полученными для алюмооксидных волноводов. Для дальнейшего улучшения этих параметров необходимо уменьшать пористость алюмооксидных пленок и оптимизировать геометрию и оптические параметры сердцевины.

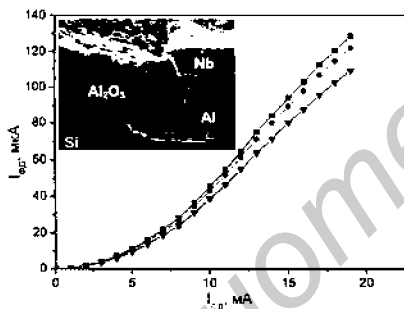


Рис. 2. Зависимости выходного тока через фотодетектор от входного тока светодиода для различных типов многослойного Al_2O_3 : волновода: квадраты - пористость 2%, длина 10 мкм, круги - пористость 2%, длина 100 мкм, треугольники - пористость 20%, длина 100 мкм. (Вставка — микрофотография фрагмента экспериментальной структуры)

При обратном смещении светодиодов на величину 4 В и выше их излучение регистрировалось интегрированными фотодетекторами. Исследование характеристик разработанной оптоэлектронной ячейки при разных режимах смещения светодиода показало, что коэффициент преобразования, определяемый отношением тока фотодетектора к току светодиода достигает величины 1 % для импульсного режима. При импульсном режиме работы светодиодов, в отличие от постоянного смещения, выделяемое тепло частично успевает рассеиваться в интервалах между импульсами, не допуская термического разогрева исследуемых структур при относительно небольших входных токах. Поэтому необратимый тепловой пробой наблюдаются для более высоких значений входных токов при максимальной скважности импульсов.

Таким образом, нами разработаны конструкция и технология изготовления системы оптических межсоединений на кремниевом чипе. Среди основных характеристик разработанной системы необходимо отметить, что коэффициент преобразования по току достигает 1 %, что открывает новые возможности как для разработки способов гальванической развязки отдельных схем, так и для ее интеграции с классическими межсоединениями на одном чипе.