

МЕЖДУЧИПОВЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ МЕЖСОЕДИНЕНИЯ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЕВЫХ НАНО- И МИКРОСТРУКТУР

С.К. Лазарук, А.А. Лешок, А.В. Долбик, В.А. Лабунов

*Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», Минск, Беларусь
e-mail: serg@nano.bsuir.edu.by*

В.Б. Высоцкий, С.В. Шведов

Унитарное предприятие «Белмикросистемы», Минск, Беларусь

Разработаны конструкция и технология изготовления междучиповых оптических межсоединений на кремнии. В качестве светоизлучающих диодов и фотоприемников используются структуры на основе наноразмерного кремния, встроенного в алюмооксидную матрицу. В качестве световодов используются сквозные отверстия кремниевой микроканальной пластины. Изготовлена экспериментальная структура с коэффициентом преобразования по току 0,3 %.

В настоящее время одной из актуальных задач развития интегральной электроники является повышение быстродействия. Замена электронных межсоединений на оптические позволит повысить быстродействие интегральных микросхем за счет устранения резистивно-емкостных задержек металлической разводки. Нами разработана и изготовлена система, обеспечивающая междучиповые оптические межсоединения на основе кремниевых лавинных светодиодов и кремниевой микроканальной пластины со сквозными вертикальными отверстиями. Измерения показали воспроизводимый отклик оптического сигнала лавинных светодиодов, регистрируемый фотодиодами на кремниевом кристалле, не имеющем электрической коммутации с другим кремниевым кристаллом, на котором расположены источники оптического излучения.

Экспериментальные структуры создавали нанесением композиционной пленки алюминия с кремнием толщиной 1,0 мкм на пластины монокристаллического кремния n-типа (с удельным сопротивлением 0,3 Ом·см) методом магнетронного распыления. В качестве материалов мишеней использовали сплав алюминия с кремнием, где содержание кремния составляло 30 ат. %. Нанесенные пленки подвергали анодной обработке в 20 % водном растворе ортофосфорной кислоты через предварительно сформированные на их поверхностях фоторезистивные маски. Различные скорости анодирования алюминия и кремния обеспечивали формирование композитной пленки наноструктурированного кремния, встроенного в алюмооксидную матрицу. Непроанодированные области, защищенные фоторезистивной маской, образовывали металлические электроды между проанодированными областями.

Разработанная конструкция состоит из двух контактов Шоттки, а также из слоя анодного оксида алюминия, разделяющего алюминиевые электроды. Слой анодного оксида алюминия содержит кремниевые наночастицы, излучающие свет в режиме лавинного пробоя контакта Шоттки (LED). Эти же контакты Шоттки при обратном смещении до пробойного состояния (в данном случае до 12 В) чувствительны к внешнему световому сигналу, поэтому могут быть использованы как фотодиоды (PD) [1, 2].

Кроме кремниевых чипов с диодными структурами, способными генерировать и регистрировать оптический сигнал, также изготавливались микроканальные кремниевые пластины толщиной 100-150 мкм со сквозными отверстиями диаметром 5-6 мкм. Расстояние между центрами пор составляет 10 мкм. Такие пластины способны пропускать оптический сигнал через сквозные отверстия с коэффициентом пропускания 15-20 %. Такие микроканальные кремниевые пластины называют интерпозерами, так как с их помощью можно осуществлять коммутацию кремниевых ИС «этажерочного типа», что было продемонстрировано нами ранее при заполнении микроканалов медью [3]. Изготовление интерпозеров осуществлялось при помощи электрохимического анодирования и последующего утончения кремниевых пластин механической полировкой [3].

Экспериментальная структура междучиповых оптических межсоединений представлена на рис. 1. Микросистема состоит из двух кремниевых чипов, на поверхности которых сформированы матрицы диодных структур на основе барьеров Шоттки между алюминиевыми электродами и кремниевой поверхностью. Между лицевыми поверхностями чипов расположена микроканальная кремниевая пластина. Работает экспериментальная структура следующим образом. При использовании обратного электрического смещения на диодах более 12 В имеет место излучение света вдоль алюминиевых электродов. Излучаемый свет проходит через микроканалы промежуточной кремниевой пластины (optical interposer) и на выходе из них регистрируется либо при помощи оптической микроскопии, либо при помощи кремниевого чипа со сформированными диодами, работающими в режиме регистрации оптического сигнала.

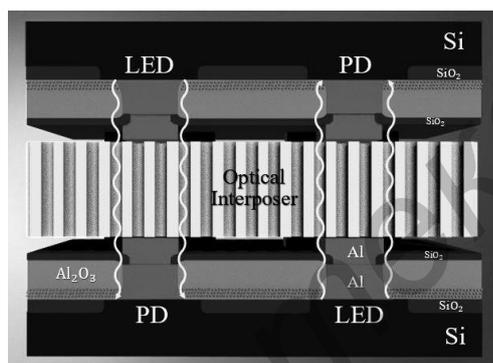


Рисунок 1. – Схематичное изображение экспериментальной структуры междучиповых оптических межсоединений

На рис. 2 представлены РЭМ изображения микроканальной кремниевой пластины, обеспечивающей передачу оптического сигнала в вертикальном направлении относительно поверхности кремниевых чипов. Как видно из рис. 2 сквозные отверстия составляют 20-25 % от всей рабочей поверхности пластины.

На рис. 3 представлены вольт-амперные характеристики лавинных диодов, работающих в режиме регистрации светового сигнала. Как видно из характеристик оптический сигнал регистрируется в диапазоне обратного смещения от 0 до 12 В.

После превышения обратного смещения 12 В вольт-амперные характеристики со световым экспонированием и без него практически не отличаются, что объясняется появлением собственного светоизлучения в исследуемых структурах. На этом же рисунке представлена вольт-амперная характеристика исследуемых лавинных

диодов с экспонированием от внешнего источника света вольфрамовой лампы накаливания, обеспечивающей энергетическую освещенность поверхности 100 мВт/см^2 . Как видно из характеристик, отклик исследуемых диодов на излучение вольфрамовой лампы соизмерим с откликом на излучение лавинного светодиода при напряжении смещения 15 В и токе 30 мА, что свидетельствует о соизмеримости оптического потока обоих источников света.

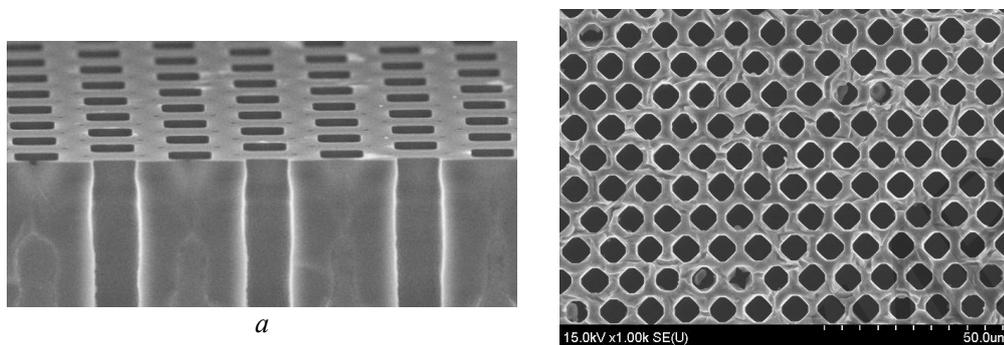


Рисунок 2. – РЭМ изображения микроканальной кремниевой пластины, используемой для оптических межсоединений между кремниевыми чипами: *а* - вид сверху, *б* - вид снизу

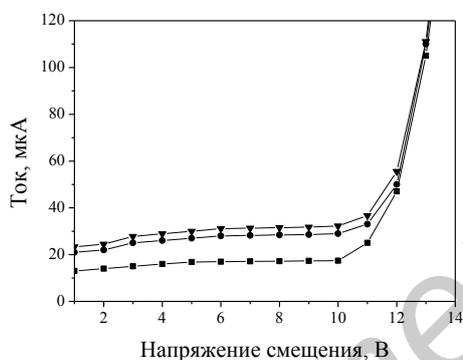


Рисунок 3. – Вольт-амперные характеристики лавинных диодов при различных методах светового экспонирования: квадраты – темновая характеристика, круги – световое экспонирование лавинными светодиодами при токе 30 мА; треугольники - световое экспонирование вольфрамовой лампой

Таким образом, разработаны конструкция и технология изготовления междичиповых оптических межсоединений. Среди основных характеристик разработанной системы необходимо отметить, что коэффициент преобразования по току достигает 0,3 %, что открывает новые возможности для развития кремниевой оптоэлектроники.

ЛИТЕРАТУРА

1. On the Route Towards Si-based Optical Interconnects / S.K. Lazarouk, A.A. Leshok, V.E. Borisenko, C. Mazzoleni, L. Pavesi // Microelectron. Eng. – 2000. – Vol. 50, № 1-4. – P. 81-86.
2. Reverse biased porous silicon light-emitting diodes for optical intra-chip interconnects / S.K. Lazarouk, P.V. Jaguiro, A.A. Leshok and V.E. Borisenko // Physica E. – 2003. – Vol. 16, № 3-4. – P. 495-498.
3. Формирование сквозных пор в кремниевых подложках для трехмерных металлических межсоединений / С.К. Лазарук, А.В. Долбик, Л.И. Степанова, Т.И. Бодрых, А.С. Турцевич, С.В. Шведов, В.А. Лабунов // Материалы 22-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2012), 10-14 сентября 2012 г. – Севастополь: Вебер, 2012. – С. 665-666.