

К ВОПРОСУ О ПРОВЕДЕНИИ ПРЯМОГО СРАЩИВАНИЯ  
КРЕМНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕОБЕСПЫЛЕННОЙ  
ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫВ.М. Волле, В.Б. Воронков,  
И.В. Грехов, В.А. Козлов

Метод прямого сращивания полупроводниковых и диэлектрических материалов, предложенный недавно для формирования многослойных структур полупроводниковой электроники, открывает широчайшие возможности в конструировании и изготовлении новых классов электронных приборов. К настоящему времени по технологии прямого сращивания реализовано формирование высококачественных бездефектных слоев монокристаллического  $Si$ ,  $GaAs$  и  $InP$  на подложках окисленного кремния [1, 2], а также проведено сращивание неокисленных кристаллов данных полупроводников и показана пригодность подобных структур для использования в приборах силовой электроники, микроэлектроники и оптоэлектронных приборах [1-4].

Для достижения однородного бездефектного сращивания полупроводниковых пластин большой площади (диаметром до 100 мм) процесс соединения зеркально полированных кристаллов должен проводиться в обеспыленной контролируемой газовой среде. Попадание частиц пыли между пластинами при их соединении приводит к образованию в локальных участках площади интерфейса дефектов в виде „пузырьков“, в пределах которых сращивания поверхностей кристаллов не происходит [5, 6]. Линейные размеры таких дефектов и величина оптического зазора между пластинами в этих областях определяются размером частиц пыли и толщиной сращиваемых полупроводниковых пластин. При проведении соединения пластин в обеспыленной воздушной среде образование „пузырьков“ также возможно из-за неидеальной плоскостности соединяемых поверхностей. Атмосферный азот, содержащийся в объеме „пузырьков“, препятствует „схлопыванию“ дефектов такого рода из-за плохой растворимости в кремнии при проведении высокотемпературных термических обработок соединенных пластин [6]. Поэтому операцию соединения пластин в пары целесообразно проводить в обеспыленной контролируемой газовой среде, например в гелии или кислороде.

В работе [5] был описан метод проведения операции соединения пластин в условиях обеспыленной воздушной среды, который позволил авторам значительно снизить вероятность попадания пылинок между пластинами и образования „пузырьков“. Удаление частиц пыли в данном методе проводилось струей  $H_2O$ , направля-

емой со скоростью выше 3 м/с в зазор между парой пластин, установленных в специальном держателе на расстоянии 500 мкм друг от друга. После этого пластины с содержанием устанавливались на центрифугу, проводилась сушка рабочих поверхностей (при скорости вращения  $\sim 3 \cdot 10^3$  об/мин), а затем соединение высушенных поверхностей. Этот метод дает хорошие результаты в лабораторных условиях, однако мало пригоден для массового производства структур по технологии прямого сращивания.

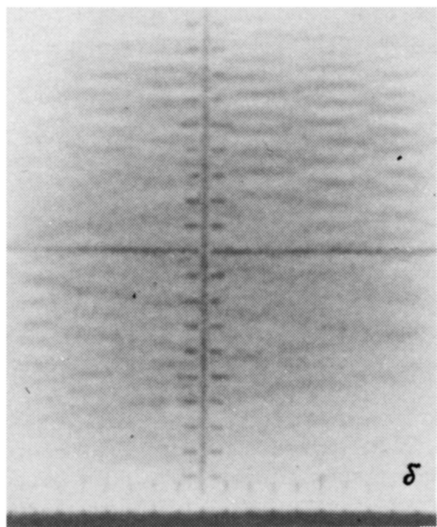
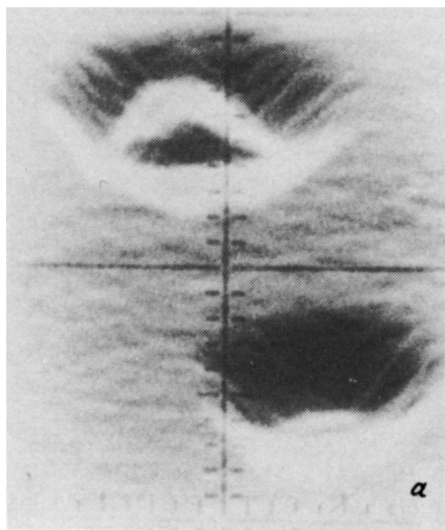
В настоящем сообщении будут описаны основные аспекты метода соединения пластин в пары, обеспечивающего „безпузырьковое“ прямое сращивание кремния (ПСК) в условиях проведения всех операций в обычных необеспыленных помещениях.

При проведении экспериментов использовались промышленные зеркально полированные пластины кремния диаметром 60 мм, выращенного в направлении (111). Обезжиривание и очистка поверхностей пластин от загрязнений проводилась по обычной для микроэлектроники схеме, состоящей из последовательных обработок пластин в органических растворителях, аммиачно-перекисных и кислотных растворах с промежуточными промывками в деионизованной воде. Заключительный этап подготовки пластин к соединению состоял в удалении окисленного слоя кремния с поверхностей пластин в 1% водном растворе  $\text{HF}$  с последующей 10-минутной промывкой пластин в потоке тщательно отфильтрованной от микрочастиц и взвесей деионизованной воды с удельным сопротивлением  $1,8 \times 10^4$  Ом·см.

После промывки пластины приводились в плотный контакт рабочими поверхностями непосредственно в  $\text{H}_2\text{O}$ , затем извлекались с кассетой из  $\text{H}_2\text{O}$  и проходили двухстадийную операцию удаления лишних слоев воды между соединенными поверхностями. На первой стадии основная масса  $\text{H}_2\text{O}$  удалялась за счет действия центробежных сил при сушке пар пластин на центрифуге в течение 5 минут при скорости вращения  $\sim 8 \cdot 10^3$  об/мин. Затем пластины помещались в термостат и термообрабатывались при  $T=110 - 130$  °C в течение 4 часов при сжимающей пластины нагрузке  $\gg 3 \cdot 10^3$  Па.

Следует отметить, что наличие единичных „пузырьков“, образуемых при соединении пластин в пары в случае использования пластин с небольшими дефектами полировки (микроямки с глубиной  $\sim 1$  мкм, либо другие небольшие нарушения плоскостности рабочей поверхности пластин), при данном методе соединения не снижает качество интерфейса ПСК-структур. Дело в том, что объем таких „микропузырьков“ в нашем случае оказывается заполненным не атмосферным воздухом, а отфильтрованной деионизованной водой. Термическая обработка соединенных в пары пластин при  $T=1100 - 1200$  °C в течение нескольких часов приводит к „залечиванию“ подобных дефектов (сращиванию несоединенных первоначально участков площади структур), аналогично описанному в [3].

На рисунке приведены два снимка одного участка площади интерфейса ПСК-структуры: первый (а) – после соединения пластин и сушки в термостате, второй (б) – после завершения сращивания



Картина оптического пропускания участка площади ПСК-структуры с дефектами типа „пузырьков“, полученная с помощью лазерного сканирования светом с  $\lambda = 1.15$  мкм. Размер раstra при сканировании 6x8 мм. а - после окончания стадии соединения пластин в пары; б - после завершения процесса сращивания (высокотемпературная термическая обработка при  $T=1150$  °С,  $t=4$  ч).

( $T=1150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Снимки сделаны на лазерном сканирующем микроскопе в режиме регистрации интенсивности проходящего через структуру излучения с длиной волны  $\lambda=1.15\text{ }\mu\text{м}$ . На первом снимке отчетливо видны „микропузыри“, образованные после соединения пластин в пары и имеющие величину оптического зазора между несоединенными поверхностями  $\sim 0.5\text{ }\mu\text{м}$  (величины зазора определяются интерференционным методом на лазерном сканирующем микроскопе). Второй снимок показывает, что высокотемпературная термическая обработка такой пары пластин приводит к полному „схлопыванию“ пузырьков, и оптическое пропускание первоначально дефектного участка площади становится однородным и равным пропусканию остальной площади образца. Возможность полного схлопывания определяется, очевидно, достаточно быстрой диффузией в кремний продуктов термической диссоциации воды.

Исследование вольт-амперных характеристик  $p^+-n$  переходов, изготовленных методом ПСК с описанным выше режимом соединения пластин в пары, показало, что ВАХ силовых ПСК диодов не отличались от характеристик контрольных диффузионных структур и были аналогичны приведенным в [4]. Величина потенциального барьера и барьерного сопротивления интерфейса  $p-p$  и  $p-n$  структур, изготовленных сращиванием пластин кремния КДБ и КЭФ с удельным сопротивлением  $\rho_p=1\text{ Ом}\cdot\text{см}$  и  $\rho_n=5\text{ Ом}\cdot\text{см}$  соответственно, оказалась ниже предела чувствительности измерительных установок, а электрическое сопротивление таких структур совпало с расчетными значениями, определенными из значений  $\rho$  и толщины образцов.

Таким образом, установлено, что соединение пластин  $Si$  в пары при формировании полупроводниковых структур по технологии ПСК может быть проведено в отфильтрованной деионизованной воде, что позволяет проводить все операции технологического процесса без предъявления каких-либо специальных требований к обеспыленности и составу газовой среды технологических помещений. Электрические характеристики изготовленных по такому методу структур не отличаются от характеристик образцов, сформированных прямым сращиванием „сухих“ пластин. Этот метод открывает возможность создания технологии массового производства полупроводниковых приборов и структур путем прямого соединения пластин из полупроводниковых материалов.

## Л и т е р а т у р а

- [1] L a s k y J.B. // Appl. Phys. Lett. V. 48(1). P. 78-80.
- [2] L e h m a n n V., M i t a n i K., S t e n g l R., M i i T., G ö s e l e U. // Jap. J. Appl. Phys. 1989. V. 28 (12). P. L 2141-L 2143.
- [3] F u r u k a w a K., S h i m b o M., F u k u d a K., T a n z a w a K. // J. Appl. Phys. 1086. V. 60 (8). P. 2987-2989.

- [4] Волле В.М., Воронков В.Б., Грехов И.В., Козлов В.А. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 14.
- [5] Stengl R., Ahn K.Y., Göselle U. // Jap. J. Appl. Phys. 1988. V. 27(12). P. L 2364-L 2366.
- [6] Black R.D., Arthur S.D., Gilmore R.S., Lewis N., Hall E.L., Lilliguis R.D. // J. Appl. Phys. 1988. V. 63(8). P. 2773-2777.

Физико-технический институт  
им. А.Ф. Иоффе АН СССР,  
Ленинград

Поступило в Редакцию  
25 июля 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 17

12 сентября 1990 г.

01; 05.4

© 1990

## АНАЛИЗ РАССЕЯНИЯ СИГНАЛОВ НА НЕОДНОРОДНОСТЯХ В ЛИНИЯХ СВЯЗИ ИЗ ВТСП

Р.А. С у р и с, Н.В. Ф о м и н

В предыдущей работе [1] было показано, что коаксиальные волноводы из ВТСП, по сравнению с волноводами из обычных хорошо проводящих металлов, обладают существенно лучшими характеристиками, что служит предпосылкой для их применения в быстродействующих устройствах в качестве каналов связи и межсоединений для БИС. В расчетах учитывались диссипация энергии и дисперсия скорости распространения сигнала, связанные с приповерхностными омическими токами нормальных электронов, при этом форма волновода и свойства материала предполагались однородными вдоль волновода.

Многообещающие характеристики линий связи из ВТСП могут оказаться очень чувствительными к неизбежным на практике неоднородностям материала, вызывающим рассеяние сигнала. В связи с этим, имеет смысл оценить ослабление и расплывание передаваемых сигналов (даже в идеальном случае отсутствия рассмотренных