

УДК 691.791.024

Исследование метода подготовки поверхности кремниевых полупроводниковых пластин для диффузионной сварки

Курочкина Юлия Александровна

kurockinau@bmstu.ru

Юдин Андрей Игоревич

yudin.a@bmstu.ru

Михеев Роман Сергеевич

mikheev@bmstu.ru

Баклыков Дмитрий Алексеевич

dimabaklykov@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрено влияние различных методов жидкостной химической подготовки на ключевые характеристики поверхности монокристаллического кремния, определяющие качество диффузионной сварки. Проанализированы физико-химические механизмы формирования соединения, выявлены основные требования к поверхности: наноразмерная шероховатость, атомарная чистота и высокая гидрофильность, обеспечиваемая силанольными группами Si-OH. Экспериментально исследовано воздействие комбинаций растворов на чистоту, смачиваемость и шероховатость поверхности. На основе исследования выбрана методика обработки, обеспечивающая необходимые характеристики поверхности для создания высокопрочных и герметичных соединений в микро-электромеханических системах (МЭМС).

Ключевые слова: монокристаллический кремний, диффузионная сварка, подготовка поверхности, жидкостная химическая обработка, микроэлектромеханические системы

Развитие микроэлектромеханических систем (МЭМС), таких как акселерометры и гироскопы, предъявляет жесткие требования к неразъемным соединениям, образующих их полупроводниковых компонентов, состоящих из неметаллических материалов, например монокристаллического кремния. Важной особенностью подобных соединений является гарантированное обеспечение вакуума от 10^2 до 10^3 Па, необходимого для работоспособности МЭМС [1]. Диффузионная сварка является одним из ключевых процессов для соединения элементов данных устройств, поэтому целью данной работы являлось исследование методов жидкостной химической подготовки на характеристики поверхности кремниевых полупроводниковых пластин, определяющие качество неразъемного соединения, полученного низкотемпературным гидрофильным методом диффузионной сварки [2, 3].

Исходные образцы из монокристаллического кремния с кристаллографической ориентацией (100) представляли собой пластины размером 25×25 мм и диски диаметром 100 мм с толщиной 525 мкм. Жидкостную химическую подготовку их поверхностей проводили несколькими способами, применяя следующие комбинации химических растворов: 1) раствор пиранья ($\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 = 3:1$), плавиковая кислота HF; 2) раствор пиранья ($\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 = 3:1$), плавиковая кислота HF, пероксидно-аммиачный раствор ($\text{H}_2\text{O} : \text{H}_2\text{O}_2 :$

$\text{NH}_4\text{OH} = 5:1:1$); 3) раствор пирания ($\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 = 3:1$), плавиковая кислота HF , пероксидно-аммиачный ($\text{H}_2\text{O} : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{NH}_4\text{OH} = 5:1:1$) и пероксидно-кислотный ($\text{H}_2\text{O} : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{HCl} = 6:1:1$) растворы; 4) раствор пирания ($\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 = 3:1$), плавиковая кислота HF , пероксидно-аммиачный ($\text{H}_2\text{O} : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{NH}_4\text{OH} = 5:1:1$), пероксидно-кислотный ($\text{H}_2\text{O} : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{HCl} = 6:1:1$) и пероксидно-аммиачный растворы ($\text{H}_2\text{O} : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{NH}_4\text{OH} = 5:1:1$).

Исследование количества и характера распределения загрязняющих частиц на обработанных поверхностях образцов проводили с помощью лазерного анализатора. Установлено, во всех способах обработки применение плавиковой кислоты и пероксидно-кислотного раствора приводит к увеличению количества загрязняющих частиц. Однако данный эффект является технологически оправданным для удаления исходных органических, более опасных загрязнений. Оценка смачиваемости обработанных поверхностей образцов показала, что максимальная гидрофильность после обработки по способу 4. Результаты измерения шероховатости поверхности образцов способом стилусной профилометрии показали, что значения шероховатости R_a образцов после каждого из рассмотренных способов обработки оставались в диапазоне от 3,0 до 4,5 Å, что удовлетворяет требованиям к исходной поверхности для диффузионной сварки. Таким образом, в результате проведенного исследования выбрана и экспериментально обоснована методика подготовки поверхности кремниевых пластин к диффузионной сварке по способу 4: раствор пирания, плавиковая кислота, пероксидно-аммиачный, пероксидно-кислотный и пероксидно-аммиачный растворы.

Список источников

- [1] Harendt C., Graf H.G., Hofflinger B., Penteker E. Silicon fusion bonding and its characterization. Journal of Micromechanics and Microengineering, 1992, art. no. 113. <https://doi.org/10.1088/0960-1317/2/3/001>
- [2] Tilli M., Paulasto-Kröckel M., Petzold M., Theuss H., Motooka T., Lindroos V. Handbook of silicon based MEMS materials and technologies. Elsevier, 2020, pp. 567–579.
- [3] Farrens S. Wafer-bonding technologies and strategies for 3D ICs. Wafer Level 3-D ICs Process Technology, 2008, pp. 1–35. https://doi.org/10.1007/978-0-387-76534-1_4