

Оценка эффективности методов соединения для МЭМС устройств Белоусова Е. В.

*Белоусова Екатерина Викторовна / Belousova Ekaterina Viktorovna – студент-бакалавр,
Специальность: наноинженерия,*

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение Высшего профессионального образования
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Калужский филиал,
г. Калуга*

Аннотация: *изложены результаты исследования технологических процессов сборки деталей МЭМС, использованные для изготовления работоспособных макетных образцов. Определены режимы и выявлен наиболее эффективный метод срачивания.*

Ключевые слова: *МЭМС, сборка МЭМС, анодная посадка, диффузионная сварка, пластины, качество.*

МикроЭлектроМеханические Системы (МЭМС) - это множество микроустройств самых разнообразных конструкций и назначения, производимых сходными методами с использованием модифицированных групповых технологических приемов микроэлектроники. Объединяет их два признака. Первый – это размер, второй – наличие движущихся частей и предназначение к механическим действиям. Это могут быть: миниатюрные детали, микроинструменты, микромашины, микророботы, микродатчики и исполнительные устройства [1].

Современные МЭМС, выполненные наподобие ИС, представляют собой сформированные на единой подложке датчики, актуаторы, схемы управления с размерами элементов от нескольких сотен до нескольких единиц микрон. Но в отличие от микросхем, МЭМС, как правило, имеют трёхмерную структуру [1].

Соединение деталей МЭМС при изготовлении этих устройств требует тщательной подготовки и является самостоятельной задачей.

Базовым материалом для микромеханических приборов, как и для полупроводниковых, служит кремний. Это объясняется наличием на рынке кремниевых пластин высокой степени чистоты и кристаллографического совершенства. К тому же монокристаллический кремний известен своими превосходными механическими характеристиками [1].

В работе изложены результаты исследований сборки чувствительных элементов и деталей конструкций макетных образцов МЭМС. Проводилось срачивание кремниевой и стеклянной пластины анодной посадкой и кремниевых пластин с напыленным алюминиевым слоем диффузионной сваркой.

Анодная посадка

Эффективным методом соединения деталей МЭМС является электростимулированное термическое соединение, или анодная посадка, позволяющее соединять детали из различных материалов [2].

Анодная посадка основана на соединении материалов: полупроводника и щелочесодержащего стекла с ионной проводимостью. На рис. 1 представлена схема устройства для проведения процесса анодной посадки. В соответствии со схемой срачиваемые детали устанавливаются на нагреватель. Через систему электродов на детали подается потенциал от источника высокого напряжения. Контроль процесса срачивания осуществляется путем измерения тока высокого напряжения.

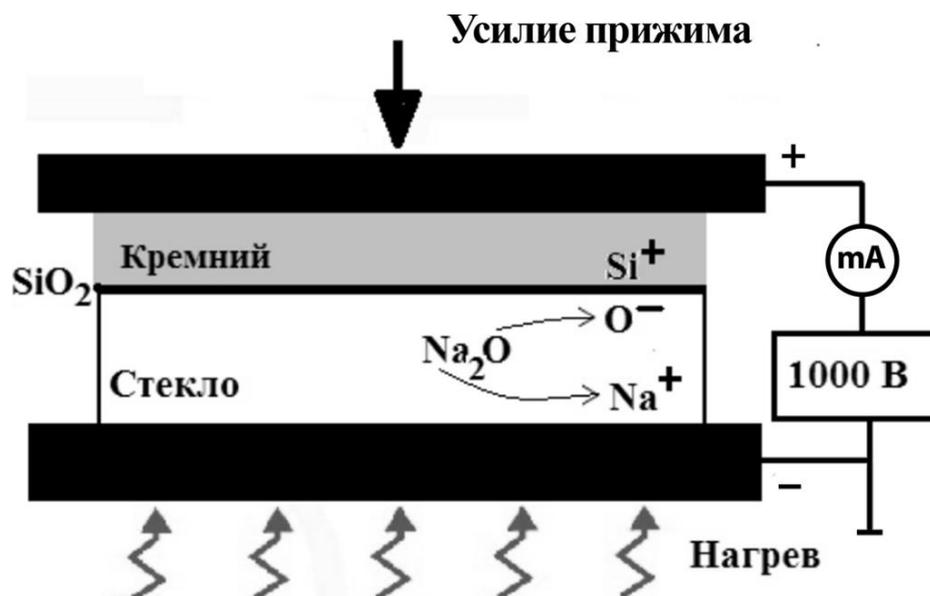


Рис. 1. Схема процесса анодной посадки

Для проведения анодной посадки нами выбрано стекло ЛК-105, температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) которого идентичен кремнию. Это стекло обладает высокими поляризационными свойствами, что положительно влияет на качество сращивания с кремниевыми пластинами.

Основываясь на литературных источниках и проведенных исследованиях по анодному сращиванию, были установлены следующие режимы сварки:

1. Для лучшего физического контакта пластин прижимной контакт выбрали весом 318 г.
2. Достижение вакуума подколпачного устройства до $5 \cdot 10^{-4}$ мм. рт. ст.
3. Температурный режим $\sim 400^{\circ}\text{C}$.
4. Рабочее напряжение 1000 В.
5. Время процесса сращивания 15 минут.

Для успешного соединения кремния со стеклом поверхность стеклянной пластины обрабатывали в 30 % растворе КОН, пластину кремния промывали в деионизованной воде.

Следует отметить, что требование высокой плотности физического контакта свариваемых деталей может быть удовлетворено использованием в качестве промежуточной механической операции - шлифовки, в качестве финишной - полировки [3].

Далее пластины в специальной таре устанавливали на подогревной столик вакуумной установки УВН2М-2. Чтобы максимально сблизить поверхности друг с другом, прижимной контакт помещали в центр высоковольтного электрода.

После вакуумирования установки включали нагрев столика с контролем температуры по термопаре.

Процесс проводили при напряжении 1000 В, токе не менее 5 мА в течение 15 минут. Из-за поляризации стекла происходил спад тока во времени, достигая значения не более 1 мА. Экспериментальные значения силы тока в зависимости от времени представлены в таблице 1.

Таблица 1
Зависимость тока анодной посадки (мА) от времени процесса

Т, мин № процесса	1	5	10	15
1	6	3	2	1
2	5	2	1	0,5
3	4	2	1	0,5
4	6	4	3	1
5	5	2	1	0.5

На рис. 2 представлен график полученной зависимости.

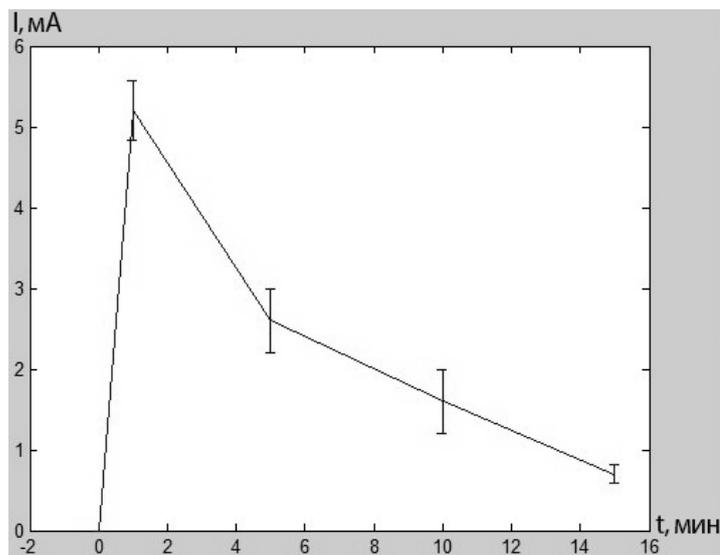


Рис. 2. График зависимости силы тока от времени

Из графика видно, что сила тока может колебаться изменяться в пределах 5 % от среднего значения.

Время охлаждения пластины до 50 °С составляло 50 минут.

Завершающей операцией является контроль качества сварки. Качество сращивания достаточно достоверно идентифицируется при визуальном наблюдении по изменению контраста изображения в области сращивания.

Диффузионная сварка

Этот метод обеспечивает высокую надежность соединения, прежде всего статическую и динамическую прочность, термостойкость, вакуумную плотность, а также высокие упругие свойства [4].

Схема диффузионной сварки представлена на рис. 3. В соответствии со схемой сращиваемые детали устанавливаются на нагреватель. Главную роль играет прижимной контакт, который вызывает микропластическую деформацию пластин, вследствие чего происходит взаимная диффузия.

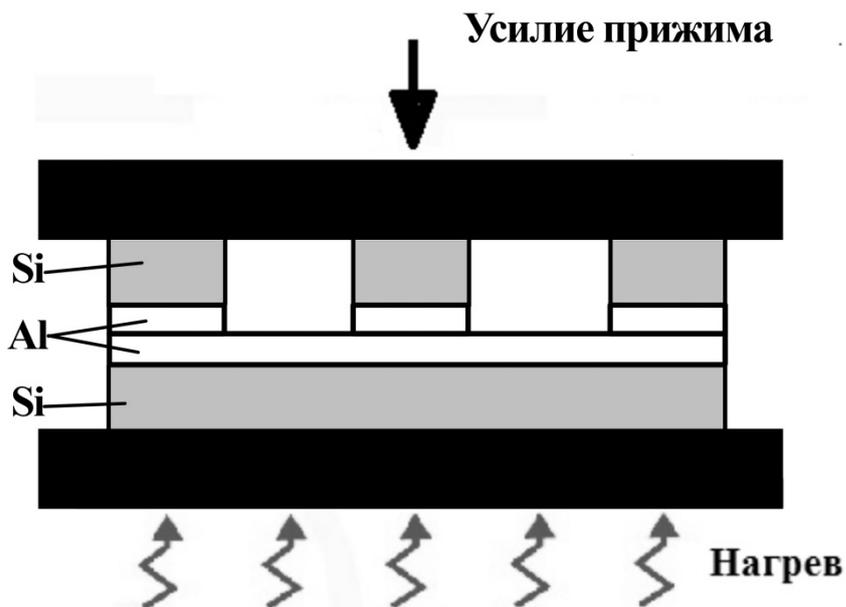


Рис. 3. Схема процесса диффузионной сварки

Режимы сварки:

1. Для лучшего физического контакта пластин прижимной контакт выбрали весом 1946 г.
2. Достижение вакуума подколпачного устройства до $5 \cdot 10^{-4}$ мм. рт. ст.
3. Температурный режим $\sim 550^{\circ}\text{C}$.
4. Время процесса сращивания 40 минут.

Перед сращиванием пластины промывали в деионизованной воде, затем укладывали на подогревном столике пластины и устанавливали груз. Сращивание проводили на установке УВН2М-2.

Следует отметить, что температура является важнейшим параметром диффузионной сварки. Она ускоряет перераспределение атомов при сближении отдельных микроучастков контактной поверхности, способствует устранению различного рода несовершенств структуры поверхности в зоне сварки в процессе возврата и рекристаллизации [4].

По истечении 40 минут отключали нагрев столика и проводили охлаждение пластины струей обеспыленного воздуха до 50°C в течение 50 минут.

Завершающей операцией являлся контроль качества сварки. Качество сращивания можно проверить с помощью грамометра, прикладывая сдвигающее усилие к торцу кристалла.

Заключение

Исходя из исследований и проведенных экспериментов, можно сделать вывод, что анодная посадка является наиболее эффективным методом соединения. Благодаря подаче высокого напряжения можно значительно уменьшить вес прижимного контакта, что позволяет уменьшить деформацию пластин. При диффузионной сварке приходится прикладывать большие нагрузки к пластине, придавливая его к подложке, вследствие чего может произойти разрыв мембраны. Ещё одним преимуществом является небольшая длительность технологической операции (не превышающая 60-ти минут) и простота реализации процесса.

Литература

1. *Васенков А. А.* Микроэлектромеханические системы. Настало время выходить в свет // Электроника: Наука. Технология. Бизнес. 1998 г. № 5-6. - С. 55-59.
2. *Тимошенко С. П., Бойко А. Н., Симонов Б. М., Заводян А. В.* Методы сборки и монтажа макетных образцов микроэлектромеханических систем // Известия вузов. Электроника. 2010. № 4.
3. *Бочкин О. И., Брук В. А., Никифорова-Денисова С. Н.* Механическая обработка полупроводниковых материалов. М.: Высшая школа, 1977. 146 с.
4. *Бачин В. А.* Диффузионная сварка стекла и керамики с металлами. М.: Машиностроение, 1986. 184 с.