



УДК 621.792.6

DOI: 10.22184/NanoRus.2019.12.89.549.550

# ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ЭВТЕКТИЧЕСКОГО СРАЩИВАНИЯ МЭМС FEATURES OF EUTECTIC BONDING MEMS TECHNOLOGY

ДОЛГОВЫХ ЛЮДМИЛА ИГОРЕВНА

DOLGOVYKH LYUDMILA I.

ВИНОГРАДОВ АНАТОЛИЙ ИВАНОВИЧ

VINOGRADOV ANATOLY I.

ЗАРЯНКИН НИКОЛАЙ МИХАЙЛОВИЧ

ZARYANKIN NIKOLAY M.

МИХАЙЛОВА МАРИЯ СЕРГЕЕВНА

MIKHAILOVA MARIA S.

БРЫКИН АРСЕНИЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ

BRYKIN ARSENY V.

*Национальный исследовательский университет «МИЭТ»  
124498, г. Москва, г. Зеленоград, площадь Шокина, 1*

*National Research University of Electronic Technology  
1 Shokin Square, Zelenograd, Moscow, 124498, Russia*

Для сращивания кремниевых пластин в данной работе использовался процесс эвтектической пайки через напыленный на одну из сращиваемых пластин тонкий слой золота. При проверке образцов после процесса была обнаружена проблема неравномерного распределения золота по пластине. Чтобы избежать эффекта расплазания золота по пластине в процессе сращивания, была разработана демпфирующая воздушная подушка.

**Ключевые слова:** МЭМС; эвтектическое сращивание пластин; расплазание золота; демпфирующая воздушная подушка.

The paper presents the process of eutectic silicon wafers bonding using a thin gold layer deposited on one of bonding wafers. When testing samples after the process, there occurred the problem of uneven gold distribution across the substrate. To avoid the gold spreading effect after bonding, a damping air clamp has been developed.

**Keywords:** MEMS; eutectic bonding; gold spreading; damping air clamp.

Основной частью МЭМС является чувствительный элемент. Технологические процессы изготовления элементов микромеханики содержат стандартные микроэлектронные операции и оригинальные технологические процессы. В данной работе рассмотрен процесс соединения кремниевых элементов и пластин с помощью эвтектической пайки.

Сращивание с помощью эвтектики, очевидно, зависит от выбора материалов соединяемых поверхностей, из которых образуется эвтектический сплав со связующими материалами [1].

Для процесса сращивания в нашем случае применялись кремниевые пластины КДБ-4,5. Перед процессом сращивания пластины подвергались обработке — удалению естественного окисла кремниевой пластины в буферном растворе.

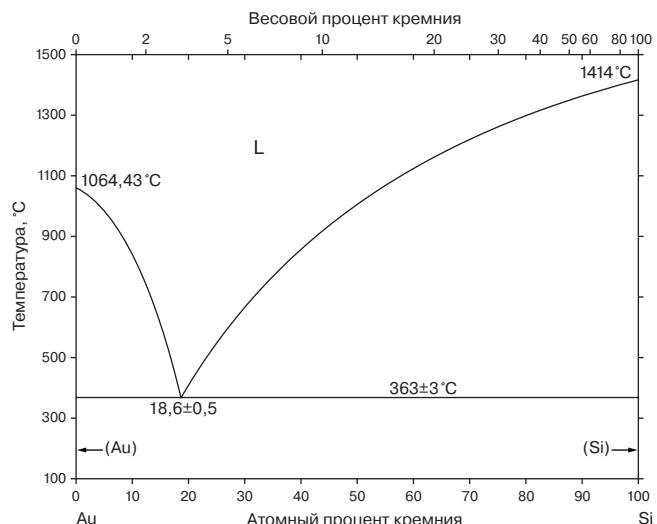
На одну из пластин кремния наносился тонкий слой золота. Низкая химическая активность является важным и характерным свойством золота. На рис. 1 представлена фазовая диаграмма состояний золото — кремний. Эвтектическая температура этой системы крайне мала по сравнению с температурами плавления чистого золота или чистого кремния. Растворимости золота в кремнии и кремния в золоте слишком малы, чтобы их отобразить на обычной фазовой диаграмме состояний. Растворимость золота в кремнии определена методом мечевых атомов и при температуре 1280 °C составляет  $2 \cdot 10^{-4}$  % (ат.). Полученная эвтектика Au + 6 % Si имеет температуру плавления 370 °C [2].

Способ нанесения золотого слоя на поверхность кремния — термическое испарение в установке УВН. После напыления золота производилась фотолитография для получения рисунка в слое золота. Толщина управляемого слоя золота на пластине составляла от 0,5 до 0,7 мкм. Для эксперимента также взяли одну из пластин с вытравленными в ней структурами ЧЭ МЭМС.

Сращивание кремниевых пластин с помощью эвтектического сплава производилось в установке SussSB6. Установка SB6 предназначена для анодного и эвтектического сращивания кремния. Камера может нагреваться до 500 °C. Также в камере имеется мембрана, которая может давить на сращиваемые подложки с необходимым усилием.

Т. к. температура эвтектики золото — кремний 370 °C, процесс сращивания пластин в установке происходил при температуре в камере 420 °C. На сращиваемые подложки давил пресс с усилием  $\approx 200$  кг.

После процесса сращивания проводилась проверка полученных образцов разрушающим методом контроля. Технология



*Рис. 1. Диаграмма состояния системы золото — кремний*

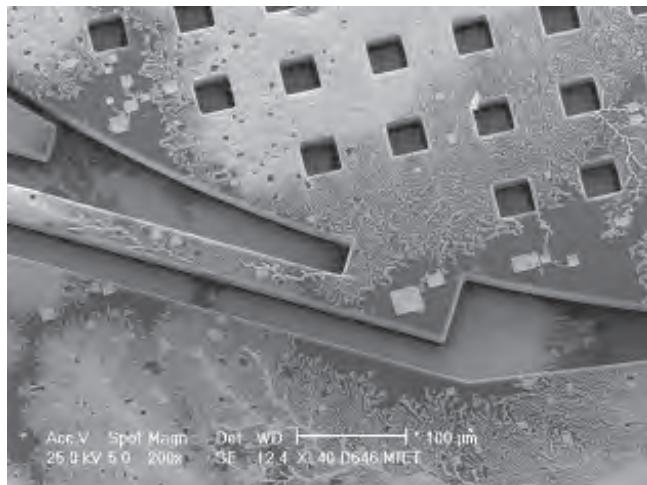


Рис. 2. Расползание золота по поверхности кремниевой пластины с вытравленной в ней структурой после процесса эвтектического сращивания

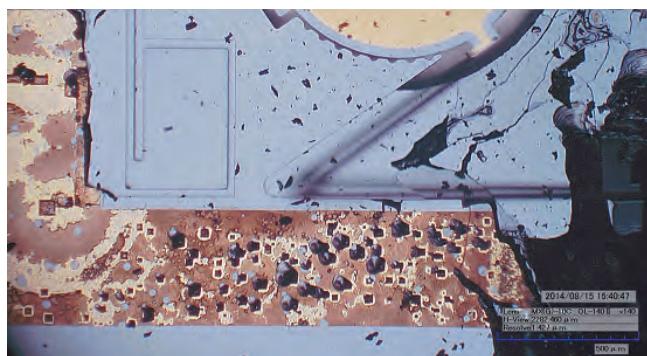


Рис. 3. Результат сращивания кремниевых пластин эвтектической пайкой с применением демпфирующей воздушной подушки

разрушающего контроля основана на приложении к образцу определенного управляемого воздействия и последующего разрушения образца. После скальвания образца обнаружилась проблема неравномерного распределения золота по пластине (рис. 2). Как видно из рисунка, слой напыленного золота растекается по поверхности кремния, приближаясь к краям вытравленных канавок ЧЭ МЭМС.

Установлено, что при толщине напыляемого металлического слоя менее 1 мкм критичным является качество поверхности сращиваемых кремниевых пластин. Реальные поверхности кремниевых пластин не бывают атомарно-гладкими и атомарно-чистыми, как это необходимо для их идеального сращивания. Кроме того, на поверхности кремниевых подложек может проходить окисление при температуре 20 °C и выше в следующих технологических средах: воздухе ЧПП, воде, химических реагентах, вакууме, газах. Сразу после проведения химической обработки подложек в различных реагентах уже существует тонкий слой SiO<sub>2</sub> различной толщины. Для получения чистой поверхности Si без слоя SiO<sub>2</sub> даже малой толщины пластины обрабатывались в водном растворе HF(HF/H<sub>2</sub>O). После обработки на большей площади пластины отсутствуют связи Si-H,

Si-O-Si, Si-OH, и в этом случае естественный слой SiO<sub>2</sub> начинает расти приблизительно через 100 мин. В воде, в среде влажного воздуха связи Si-H на поверхности полупроводниковых пластин меняются на Si-O-Si и Si-OH. Необходимо обеспечить воздушную среду временного пребывания подложек, исключающую взаимодействие водорода и кислорода. Транспортные кассеты из полипропилена оптимальны для хранения, а также транспортировки полупроводниковых пластин с операцией очистки на последующие технологические операции маршрута изготовления полупроводниковых изделий.

Источником органических загрязнений, попадающих на поверхность подложек в среде ЧПП, в основном являются транспортные контейнеры пластин, панели установок. В процессе эксплуатации технологической тары происходит осаждение загрязнений на пластины во время хранения и транспортировки подложек, а также адсорбция материала кассеты в ванну с химическим раствором. Кроме того, образуются механические частицы при постоянном соприкосновении частей транспортировочной тары и кассеты с пластины [3].

Из-за шероховатости использованных пластин кремния не достигалось полного прилегания. Вследствие этого контакт кремния с металлом случайным образом распределялся по пластине. Для изготавливаемых таким образом микромеханических систем данный факт является критическим и неблагоприятно влияет на выход годных.

Чтобы избежать эффекта расплазания золота по пластине, была разработана демпфирующая воздушная подушка. Благодаря гибкости воздушной подушки усилие пресса в камере установки сращивания равномерно распределяется по всей поверхности подложки, учитывая все ее неровности, таким образом, создается полное прилегание кремниевых пластин друг к другу. После сращивания эвтектической пайкой с применением данной демпфирующей подушки также была проведена проверка разрушающим методом контроля. Результат показан на рис. 3.

Благодаря применению демпфирующей воздушной подушки удалось сохранить рисунок металлизации на поверхности структур ЧЭ МЭМС без наползания золота на края канавок. Использование данного устройства значительно улучшило качество сращивания кремниевых пластин эвтектической пайкой и привело к увеличению выхода годных.

Отмечено преимущество эвтектической пайки кремний – золото с использованием демпфирующей воздушной подушки: увеличена плотность прилегания кремниевых пластин, благодаря чему создается прочное соединение без случайного растекания золота по поверхности кремния.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Hsu Tai-Ran. *MEMS Packaging*. Institution of Electrical Engineers, San Jose State University, USA, 2004. 275 p.
2. Баликов С. В., Дементьев В. Е. Золото: Свойства. Геохимические аспекты. — Иркутск: Иргиредмет, 2015. — С. 55.
3. Калугин В. В. Исследование и разработка процессов подготовки поверхности кремниевых пластин при изготовлении структур «кремний на изоляторе». Автореф. и диссерт. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. — М.: МИЭТ(ТУ), 2001.