

УДК 621.3.049.776.4

## ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ДЛЯ МНОГОКРИСТАЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ

М. О. Рапидов, к. т. н. В. В. Денискин

ФГУП «НИИФП им. Ф. В. Лукина»  
Россия, г. Москва  
mor52@mail.ru

*В работе оптимизированы структура и технология формирования трехмерных элементов позиционирования в кремниевых кристаллах. Результаты представляют интерес для производства кремниевых приборов типа «система в корпусе».*

*Ключевые слова: анизотропное травление кремния, кремниевый выступ, углубление в кремнии, трехмерная интеграция.*

В настоящее время для создания приборов типа «система в корпусе» используется технология 3D гибридной сборки, когда для создания многокристального модуля (МКМ) из кремниевых кристаллов применяются трехмерные элементы прецизионного позиционирования (ТЭПП), позволяющие упростить операции монтажа кристаллов в МКМ и уменьшить затраты на прецизионный монтаж по сравнению с традиционными конструкциями [1]. Ключевой технологической операцией в этом случае следует признать процесс формирования ТЭПП на основе жидкостного анизотропного травления кремния. Преодоление затруднений практической реализации технологии формирования ТЭПП из-за ошибок ориентации шаблонов относительно кристаллографических осей кремниевых пластин при фотолитографии для анизотропного травления рассматривались ранее [1]. В данной работе предлагается оптимизация технологии ТЭПП, позволяющая улучшить операции монтажа кристаллов в МКМ, а также усовершенствованная конструкция ТЭПП, которая при меньших габаритах элементов обеспечивает требуемую точность совмещения.

В известной технологии формирования ТЭПП [2] в качестве исходного материала применяются пластины из монокристаллического кремния, рабочие поверхности которых ориентированы в направлении кристаллографической оси  $\langle 100 \rangle$ . На пластинах анизотропным травлением создаются ТЭПП — система выступов и соответствующих углублений с боковыми трапецеидальными гранями, которые представляют собой семейства кристаллографических плоскостей  $\{111\}$ . При сборке МКМ кристаллы соединяются так, что выступы одного кристалла входят в соответствующие углубления другого кристалла (см. рис. 1, а). Точность совмещения с помощью ТЭПП в первом приближении ограничивается лишь точностью фотолитографических процессов (около одного микрона). При этом (см. рис. 1, б) ширина входного отверстия углубления  $a = b + h \cdot \sqrt{2}$ , где  $b$  — ширина дна углубления (ширина вершины выступа);  $h$  — глубина углубления (высота выступа). Следовательно, для обеспечения совмещения достаточно входное отверстие кристалла 2 совместить с вершиной выступа кристалла 1 с точностью  $\Delta = a - b = h \cdot \sqrt{2}$ . Чем больше  $\Delta$ , тем проще проводить монтаж кристаллов.

Входное отверстие углубления целесообразно увеличить, путем создания своеобразной воронки, получая  $\Delta > h \cdot \sqrt{2}$ . Например, если расширение будет начинаться с середины углубления, а плоскость расширения будет пересекать кристаллографические плоскости (111), (100) под одинаковыми углами (как на рис. 1, б), тогда ширина входного отверстия углубления достигнет величины  $a_{\max} = b + h \cdot (\sqrt{2} + \sqrt{3}/\sqrt{2})$ . Оптимизированные ТЭПП — система из традиционных выступов и воронкообразных углублений. Совмещение кремниевых кристаллов теперь можно проводить с точностью  $\Delta_{\max} = h \cdot (\sqrt{2} + \sqrt{3}/\sqrt{2})$ . Это приблизительно в два раза лучше традиционных ТЭПП.

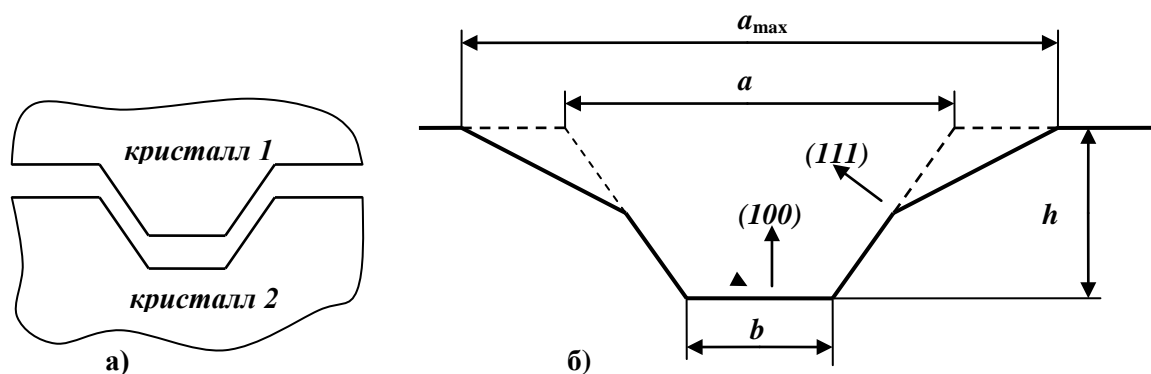


Рис. 1. Схема конструкции ТЭП на кремниевых кристаллах:

а — традиционная система выступов (кристалл 1) и углублений (кристалл 2); б — предлагаемая форма углубления в сечении (на рисунке обозначены кристаллографические плоскости (111), (100))

Технология формирования оптимизированного углубления (вариант полученного профиля глубокого травления на рис. 2) была разработана на основе анизотропного травления кремния в 10%-ном растворе КОН при 98°C.

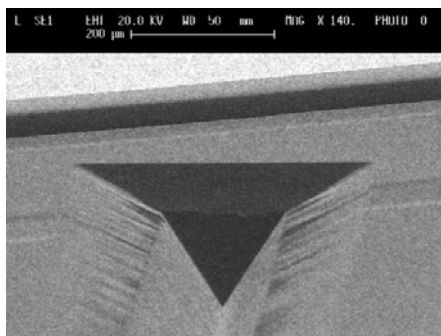


Рис. 2. Микрофотография углубления, полученного в кремнии ( $a_{\max} = 415$  мкм,  $b = 0$ )

Таким образом, разработанная технология и предлагаемая конструкция ТЭП при двукратном снижении габаритов обеспечивают требуемую погрешность совмещения кремниевых кристаллов в сборке МКМ. Или оптимизируется совмещение кристаллов при одинаковых размерах ТЭП по сравнению с традиционными конструкциями.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Денискин В. В., Рапидов М. О. К вопросу применения многокристалльных модулей с элементами прецизионного позиционирования для систем в корпусе // Электронная компонентная база космических систем. Материалы конференции. Том 11 – Москва: МНТОРЭС им. А. С. Попова, филиал ФГУП «ГНПРКЦ «ЦСКБ-ПРОГРЕСС» – «НПП «ОПТЭКС». — 2012. — С. 149–153.

2. Баринов К. И., Ларионов С. В., Рапидов М. О., Храброва Е. Н. Особенности сборки ОЭП с элементами прецизионного позиционирования // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. — 2002. — № 3. — С. 45–47.

М. О. Rapidov, V. V. Deniskin

#### Technological features for forming three-dimensional positioning elements.

The structure and formation of three-dimensional elements positioning into silicon chips have been optimized in this study. The results are of interest for manufacturing of silicon systems in package.

Keywords: *anisotropic etching of silicon, silicon protrusion, groove in the silicon, systems in package.*