

СУБМИНИАТЮРНЫЙ КРЕМНИЕВЫЙ ПЛАНАРНО-ЭПИТАКСИАЛЬНЫЙ ДИОД С КОНСОЛЬНЫМИ ВЫВОДАМИ

*Ю. М. Золотарев, Ю. А. Коростелин, В. В. Юдин,
А. И. Курносов.*

(Москва)

Потребность в большом количестве полупроводниковых приборов для электронной и радиоэлектронной промышленности вызывает необходимость создания новой конструкции миниатюрных приборов, удобной для автоматизации.

Одним из решений этой проблемы является разработка приборов с консольными выводами.

При их изготовлении используются все известные процессы планарно-эпитаксиальной технологии: эпитаксиальное наращивание, окисление, фотолитография, локальная диффузия акцепторной и донорной примесей. На полученных планарных структурах методом вакуумного напыления создаются омические контакты, поверх которых производится локальное гальваническое осаждение золотых электродных выводов. Так как, после разделения пластины на отдельные структуры, часть вывода выступает за пределы кристалла, то эта конструкция была названа консольной.

Впервые приборы с консольной конструкцией выводов были созданы фирмой Bell Telephone Labs в 1964 г. В настоящее время фирмой опубликовано много сообщений о создании выпрямительных, импульсных, туннельных диодов, транзисторов, интегральных схем с консольными выводами. Фирма General Instrument приобрела лицензию на изготовление планарно-эпитаксиальных диодов с консольными выводами. Эта технология была положена в основу настоящей разработки. По описанию фирмы General Instrument она состоит из следующих основных этапов.

Исходным материалом для диода служит эпитаксиальная пластинка кремния n -типа. Из каждой пластинки можно изготовить около 1600 диодов. Сначала пластинки окисляются, затем с помощью диффузии через отверстия (окна) в окисном слое создается слой p - и n -типов.

После этого на пластинку наносится тонкий слой благородного металла, например, палладия, платины, серебра или молибдена и пластинка нагревается до критической температуры. Металл, находящийся в контакте с кремнием, образует металлическое соединение, обладающее малым сопротивлением.

Однако, нагревание не влияет на металл, находящийся в контакте с двуокисью кремния. Этот металл удаляется с поверхности двуокиси кремния, оставляя ее ничем не закрытой.

На пластинку наносится тонкий слой металла, например, хрома или титана, который хорошо сцепляется с ее поверхностью. Очевидно, что металл химически превращает часть двуокиси кремния в кремний. Затем на пластинку наносится толстый слой благородного металла, которым и создается поверхность, необходимая для гальванопластики. Этот слой служит основанием для нанесения фоторезиста.

На пластинку наносится фоторезист и ограничиваются области для золотых выводов. Затем на эти области, не защищенные фоторезистом, методом гальванопластики наносятся золотые слои, толщиной около 10 мкм. После этого с верхней плоскости удаляются фоторезист и не защищенный золотом металл.

На обратную сторону пластинки накладывается маска для разрезания пластинки и формируются области отдельных кристаллов. Весь кремний между маскированными областями удаляется, таким образом диоды разделяются. Этим завершается процесс изготовления диодов.

Готовые диоды представляют из себя кристаллы кремния размерами $50 \times 300 \times 500$ мкм, на их поверхностях расположены золотые консоли шириной 150 мкм, имеющие размах 750 мкм.

Структура диода показана на рис. 1.

На рис. 2 изображена статическая вольтамперная характеристика одного из типичных образцов диодов с консольными выводами. Прямое падение напряжения при токе 10 ма составляет 0,9 в. Для большинства приборов разброс значений V_a (при $I_a = 10$ ма) лежит в пределах $0,85 \pm 0,95$ в.

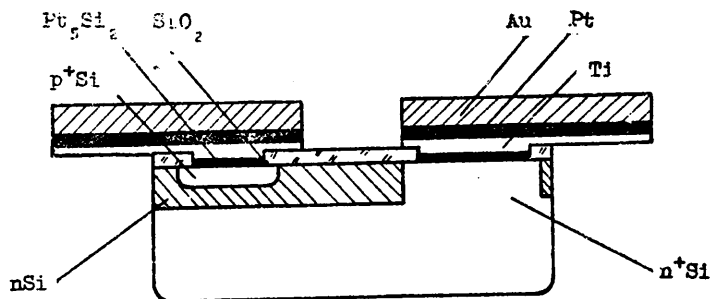


Рис. 1.

Прямая характеристика в пределах токов $0 + 10$ ма следует экспоненциальному закону:

$$I_a = I_s \exp \frac{qV_a}{m k T}, \quad (1)$$

где все обозначения общепринятые, в том числе m — коэффициент, указывающий вид преобладающего тока.

Для температур близких к комнатным

$$m = 16,7 \frac{\Delta V_a}{\Delta \lg I_a}. \quad (2)$$

На том же рисунке представлена прямая характеристика в виде зависимости $\lg I_a$ от напряжения V_a на участке, где уровень инжекции можно считать малым ($V_a < 0,7$ в). Из рисунка видно, что при смещении $0,3 - 0,55$ в $m = 4$ и, следовательно, преобладает ток рекомбинации в инверсном слое. С увеличением смещения, при $0,6 - 0,7$ в $m = 2$ и ток определяется рекомбинацией носителей заряда в области объемного заряда p-n перехода.

Преобладание рекомбинационного тока над диффузионным для малых уровней инжекции определяется легированием кремния атомами золота, применяемом для уменьшения времени восстановления обратного сопротивления.

Обратные характеристики большинства приборов имеют вид, показанный на рис. 2.

Величины обратных токов лежат в пределах $0,005 + 0,5$ мка вплоть до предпробных значений обратных напряжений. Величины

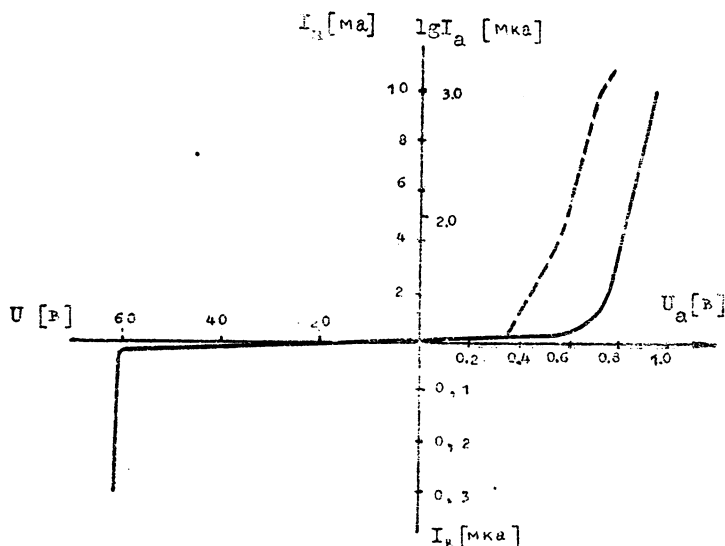


Рис. 2.

пробивных напряжений приборов, изготовленных на материале базовой области с удельным сопротивлением 0,12 омсм, 0,3 омсм и 0,7 омсм составляют соответственно ~ 45 в, ~ 75 в и ~ 100 в, что соответствует пробоем p-n перехода в объеме. Приборы имеют высокую стабильность обратного тока, что обусловлено применением экранирующего омического контакта. Металлический электрод располагается не только на поверхности полупроводника, но и на слое окисла над периферийной границей p-n перехода. При отрицательном смещении положительные ионы, присутствующие в пленке SiO_2 (Na^+ , H^+) оттягиваются от поверхности раздела $Si - SiO_2$ к металлическому электроду. Вследствие эквипотенциальности поверхности раздела (металл - SiO_2) устраняется миграция зарядов по пленке окисла.

Барьерная емкость при нулевом смещении у большинства приборов составляет 2,5 - 3 пф. При смещении в емкость уменьша-

ется до 1,5–1,8 пф, при 10 в до 1 пф. Закон изменения емкости в зависимости от напряжения показательный:

$$C \sim V^{-n}, \quad (3)$$

где величина $n \approx 0,25$.

Заряд переключения, измеренный на планарных диодах, полученных без дополнительного уменьшения времени жизни с помощью легирования золота, составил 720–780 пк. Заряд переключения на планарно-эпитаксиальных диодах, изготовленных с дополнительным легированием золотом, составляет 25–35 пк при переключении с 5 ма на 5 в и 100–120 пк при переключении с 10 ма на 10 в.

Используя приближенные соотношения между зарядом переключения Q_n величиной прямого тока I_a и временем переключения

$$t_n \approx 2 \frac{Q_n}{I_a}, \quad (4)$$

и учитывая, что для плоскостных диодов это выражение дает завышенные на 20% результаты, получим, что время переключения для диодов с консольными выводами составляет 8–11 и 16–19 нсек соответственно для двух режимов переключения.

Приборы были подвергнуты испытаниям на воздействие 600 ударов с ускорением 150g, шестикратное термоциклирование от -60°C до $+150^\circ\text{C}$ и воздействие повышенной влажности (98%) при температуре 50°C в течение 4-х суток. Из сорока случайно отобранных приборов только у одного после термоциклирования возрос обратный ток с 0,008 мка до 0,55 мка. Это, по-видимому, связано с растрескиванием слоя SiO_2 над p-n переходом, т.к. при выдерживании в камере влаги произошло дальнейшее возрастание обратного тока до 3,5 мка.

Таким образом, диоды с консольными выводами обладают высокой стойкостью к механическим и климатическим воздействиям и могут использоваться без корпуса.

Расчеты показали, что тепловое сопротивление диода с консольными выводами составляет $\sim 120^\circ/\text{вт}$, а величина паразитной емкости, обусловленной слоем двуокиси кремния, заключенным между обкладками консольный вывод – пластина кремния, лежит в пределах 0,1–0,2 пф.

Не существует принципиальных препятствий к созданию в консольной конструкции сверхбыстродействующих приборов со вре-

менем переключения меньше 0,1 мксек на рабочее напряжение больше 100 в, токи больше 100 ма и емкости меньше 1 пф. Эти параметры могут быть получены, если применить современные способы создания активной структуры, включающие уменьшение времени жизни, создание р-п перехода с меньшим градиентом концентрации примеси, более совершенные методы защиты поверхности при диффузии и др.

Для изготовления диодов с консольными выводами почти не нужно реконструировать производственные линии. Полностью групповая технология и отсутствие сборочных операций позволяет существенно снизить трудоемкость изготовления приборов. Вследствие надежной защиты поверхности р-п перехода окислом и применения экранирующего контакта отпадает необходимость в использовании корпуса, что обуславливает значительное уменьшение габаритов и стоимости приборов. При наличии консольных выводов нет нужды в термокомпрессионных соединениях над активными областями структур, что обеспечивает повышение надежности.

Идею создания приборов с консольными выводами можно легко сочетать с существующей технологией тонкопленочных, твердотельных и мультиблочных схем. В производстве интегральных схем данная технология позволяет решить проблему изоляции отдельных элементов, и тем самым повысить быстродействие схем.