

# ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ НА ПЛЕНКАХ ZnO n-ТИПА

Г. А. Батищев, Л. С. Горбатенко, Д.Н.Мельников, О. А. Новодворский,  
В.Я. Панченко, О. Д. Храмова

*Институт Проблем Лазерных и Информационных Технологий РАН, г.Шатура, Россия*  
E-mail: onov@mail.ru

Homoepitaxial ZnO films, doped by gallium, were deposited on monocrystal substrates of silicon by a method pulse laser deposition. The metal films of contacts Al, Au, Cu, Ta, Ti were deposited on substrates of silicon and ZnO films by the same method. By a method of measurement U-I characteristics it is established, that contacts Ta/n-ZnO and Ti/n-ZnO and Au/p-Si are ohmic. For contacts Al and Cu on silicon presence of Shottky barrier was observed.

В интегральных схемах контакты металла с полупроводником находят двойное применение: либо в качестве невыпрямляющих — омических контактов (соединения элементов ИС), либо в качестве специфических выпрямляющих контактов (диодов Шоттки). Структура и свойства контактов металл-полупроводник зависят в первую очередь от взаимного расположения уровней Ферми в металле  $\varphi_{Fm}$  и в полупроводнике  $\varphi_{Fs}$  (или работ выхода электрона из металла  $\varphi_m$  и из полупроводника  $\varphi_s$ ). В идеализированном случае существует четыре варианта соотношений между типами полупроводника, работой выхода электрона из металла  $\varphi_m$  и работой выхода электрона из полупроводника  $\varphi_s$ , при которых реализуется выпрямляющий или невыпрямляющий контакт [1]. В реальных ситуациях характеристики контактов могут существенно отличаться от идеализированного случая по многим причинам (состояние поверхности, параметры решетки, возникновение химических соединений в месте контакта и т.п.).

Омические контакты, обеспечивающие двустороннюю проводимость, формируются в местах присоединения выводов к полупроводниковым слоям. При создании омических контактов необходимо получить минимальное сопротивление контакта.

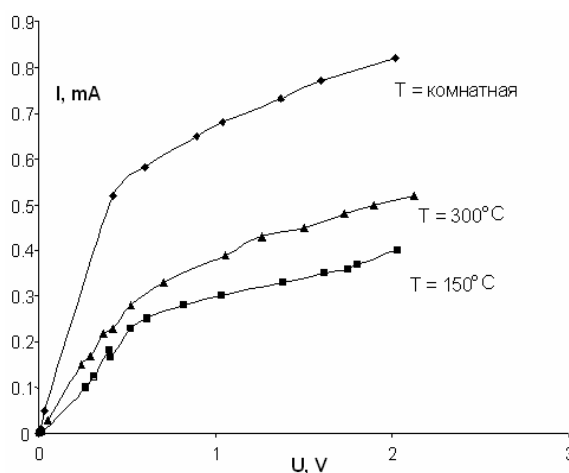
Целью данной работы является получение и исследование металлических контактов на эпитаксиальных легированных пленках ZnO и кремниевых подложках для выяснения возможности создания надежных омических контактов при изготовлении излучающих устройств и фотоприемников оптического излучения на базе оксида цинка.

Напыление тонких пленок лазерно-плазменным методом осуществлялось в вакуумной камере ВУП-5, которая откачивалась турбомолекулярным насосом до давления не менее  $1,3 \cdot 10^{-6}$  Па. Для абляции мишени использовался КгF лазер LPX-200 (длина волны 248 нм, длительность импульса 30 нс, плотность энергии лазерного излучения на мишени до 20 Дж/см<sup>2</sup>). Излучение лазера фокусировалось на поверхность мишени под углом 40 – 45° линзой с фокусным расстоянием 20 см. Для обеспечения равномерности выработки поверхности

мишени при абляции мишень вращалась со скоростью 4 об/мин. Расстояние мишень - подложка составляло 70 мм.

Осаждение проводилось на монокристаллические подложки кремния с размерами 1x1 см и толщиной 0,5 мм. Для напыления пленок ZnO мишени изготавливались в виде таблеток из порошка окиси цинка чистотой 99,99 % путем прессования и последующего отжига в атмосфере кислорода при давлении  $10^5$  Па и температуре 800 °С в течение 2 часов. Для легирования в порошок добавлялся порошок  $Ga_2O_3$  (99,999%). Выращивались эпитаксиальные пленки ZnO с ориентацией оси *c* перпендикулярно плоскости поверхности подложки. Перед помещением в вакуумную камеру подложки промывались в ацетоне. Слой естественного окисла не удалялся. Напылялись пленки в виде встречно включенных гребенчатых структур.

Вольт-амперные характеристики встречно включенных диодных структур измерялись по стандартной схеме. В качестве источника напряжения использовали ТЭС 1300К, в качестве измерителя тока GDM-8246, в качестве измерителя напряжения вольтметр универсальный В7-78.



*Рис.1. Положительные ветви вольт-амперных характеристик металлических контактов меди на кремнии p-типа, напыленных при различных температурах (уд. сопр. кремния 10 Ом см).*

На рис.1 приведены вольт-амперные характеристики металлических контактов меди, полученных методом лазеро-плазменного напыления в вакууме на кремний. Пленки напылялись при трех значениях температуры подложки 300°C, 150°C и комнатной. Видно, что сопротивление контакта носит не омический характер. Затем пленки подвергались отжигу в печи в атмосфере воздуха при температуре 400°C. После этого снова определялась зависимость тока от напряжения на контакте. Результаты отжига представлены на рис. 2.

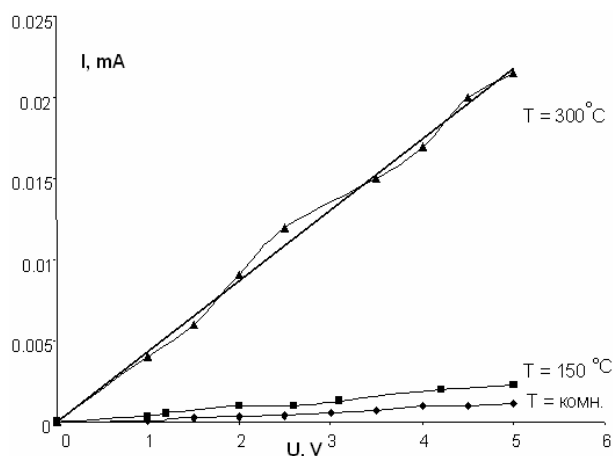


Рис.2. Вольт-амперные характеристики металлических контактов меди после отжига на воздухе (температура отжига  $400^{\circ}\text{C}$ , время отжига  $t=10$  мин).

Видно, что отжиг на воздухе приводит к появлению омического контакта для всех пленок. При этом сопротивление контакта уменьшается с возрастанием температуры осаждения пленки. Так, для пленки, осажденной при температуре подложки  $300^{\circ}\text{C}$ , контактное сопротивление составляет  $500\ \Omega$ , а для пленки, осажденной при комнатной температуре, оно равно  $5000\ \Omega$ . Снятие окисла кремния с подложки плавиковой кислотой перед процессом напыления приводит к формированию омического контакта в процессе напыления меди без стадии отжига. Результаты представлены на рис.3.

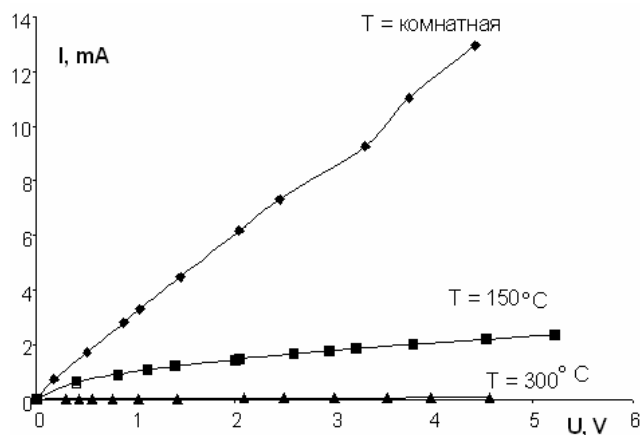


Рис. 3. Вольт-амперные характеристики металлических контактов меди на кремнии с уд. сопр.  $10\ \Omega/\text{см}$ . Оксид кремния перед напылением снят плавиковой кислотой.

Сопротивление контактов меняется в зависимости от температуры подложки при напылении. Так, для комнатной температуры оно составляет  $340\ \Omega$ , для  $150^{\circ}\text{C}$  -  $2,2\ \text{к}\Omega$ , а для  $300^{\circ}\text{C}$  -  $71\ \text{к}\Omega$ . Эта зависимость обратная по сравнению с зависимостью для сопротивления контактов отожженных пленок, полученных без снятия окисла.

Иная картина, представленная на рис. 4, наблюдается для титана, работа выхода которого на  $0,45\ \text{В}$  ниже, чем для меди. Здесь наблюдается наличие барьера при напылении на нагретую подложку.

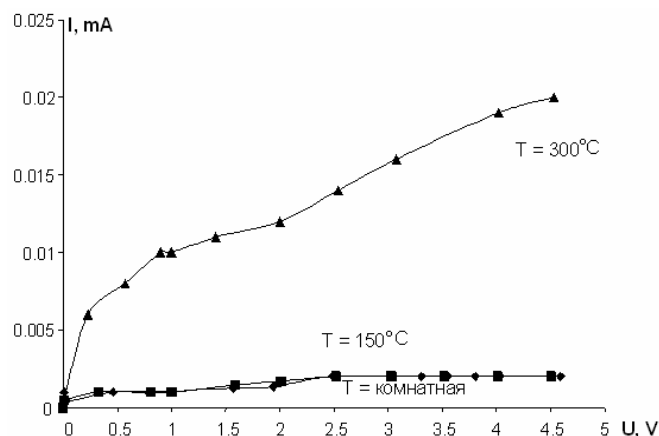


Рис.4. Зависимости тока от напряжения для титановых контактов, напыленных при разных температурах, на кремнии р-типа с удельным сопротивлением 10 Ом см (слой окисла снят плавиковой кислотой).

Сопротивление контакта при комнатной температуре составляет более двух Мом.

При напылении Au контактов на кремниевые подложки очень важное значение имеет подготовка поверхности подложек. В нашем случае подложки обезжиривались ацетоном и прогревались в вакууме перед напылением. Результаты напыления структур из золота через маску при разных температурах подложки в виде измеренных ВАХ представлены на рис. 5.

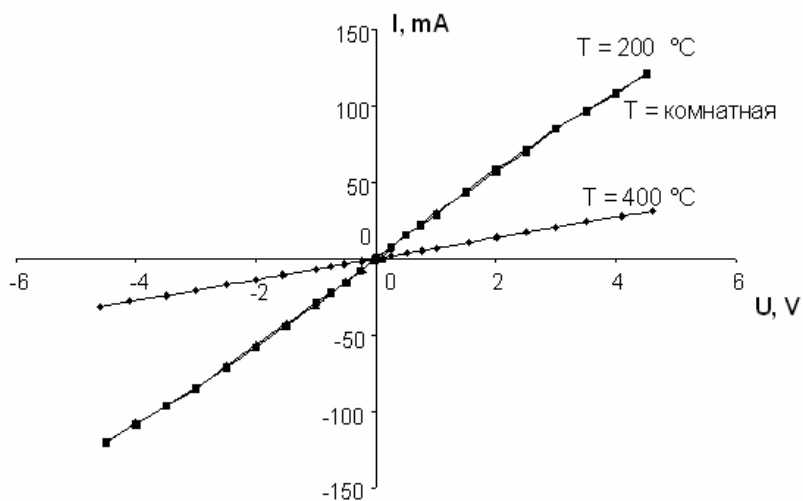


Рис.5. Вольт-амперные характеристики тонких пленок золота на кремнии р-типа.

Видно, что при всех температурах напыления формируются омические контакты. Однако, при температуре 400°C сопротивление контакта возрастает, что, повидимому, вызвано образованием интерсоединений.

Для создания металлических контактов на пленках оксида цинка n-типа на легированные галлием пленки оксида цинка напыляли контакты титана и тантала на различные участки поверхности пленки и снимали их ВАХ.

Полученные результаты, представленные на рисунках 6 и 7 показывают, что контакты имеют омический характер.

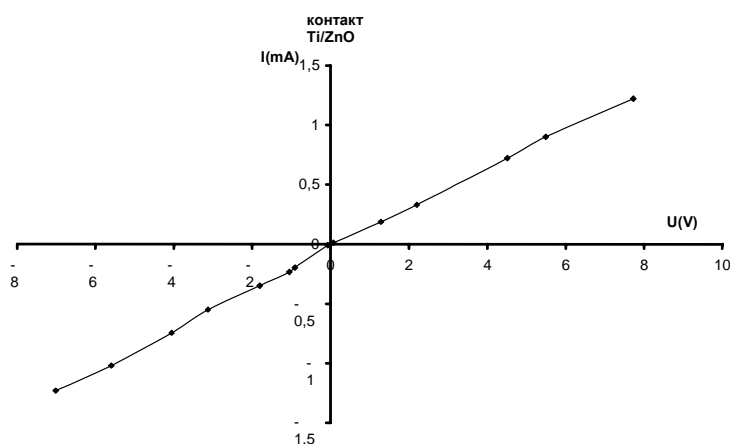


Рис. 6. Вольт-амперная характеристика контакта Ti/ZnO n-типа.

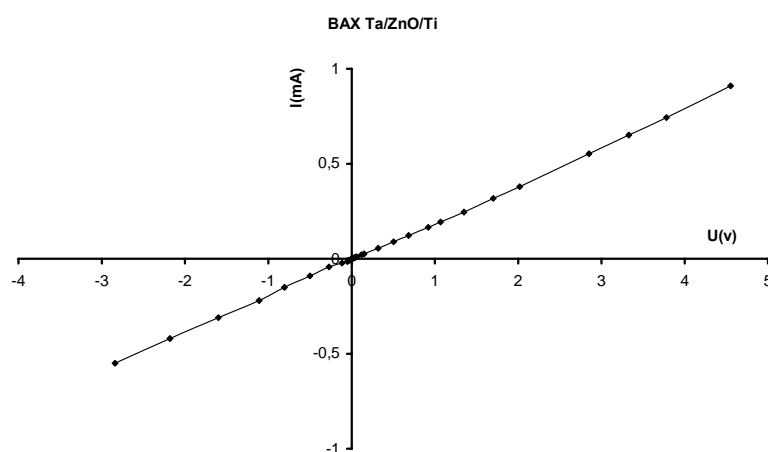


Рис. 7. Вольт-амперная характеристика контакта Ta/ZnO n-типа/Ti.

Все соединения показали омический характер. Таким образом, в диодах на базе оксида цинка со стороны пленки n-типа можно применять контакты из титана или тантала.

1. И.П.Степаненко, Основы микроэлектроники: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб.– М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2000 – 488 с., ил.