

УДК 537.311.33

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

К. А. ОСИПОВ, Г. Э. ФОЛМАНИС, Ю. Н. ЛОЗИНСКИЙ

ПЛЕНОЧНЫЕ СТРУКТУРЫ С АМОРФНЫМИ ГЕТЕРОПЕРЕХОДАМИ

(Представлено академиком Н. В. Агеевым 19 XII 1972)

Ряд приборов полупроводниковой электроники работает на основе монокристаллических гетеропереходов, представляющих собою контакты между двумя полупроводниками различной физико-химической природы в одном и том же монокристалле ⁽¹⁾. Могут быть созданы также приборы, работающие на основе аморфных гетеропереходов, представляющих собою либо контакты монокристаллического полупроводника с аморфным полу-

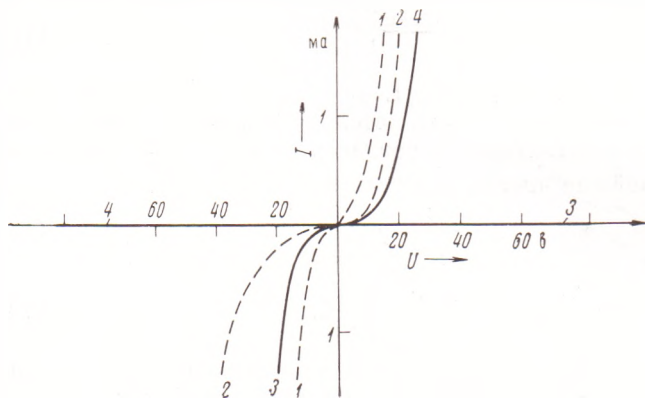


Рис. 1

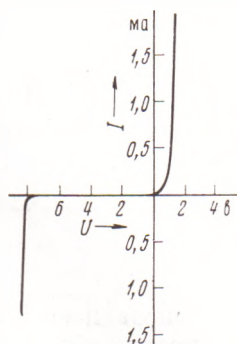


Рис. 2

Рис. 1. Вольт-амперные характеристики структур на кремниевых подложках *n*-типа (1, 2) и *p*-типа (3, 4); 3, 4 — с пленкой аморфного кремния

Рис. 2. Вольт-амперная характеристика структуры с аморфной пленкой, полученной из тетраэтилолова

проводником того же самого или другого химического состава, или с аморфным диэлектриком, либо контакты только аморфных фаз различного химического состава. Пленочные аморфные гетероструктуры на основе двух полупроводников были описаны в работе ⁽²⁾.

Физический основой для понимания аморфных гетеропереходов может быть известный теоретический вывод о том, что в аморфных материалах энергетический спектр электрона сохраняет зонный характер, хотя в нем и появляются некоторые особенности: изменение ширины зон сравнительно с зонами для кристалла и размытие их краев, появление «хвостов» локализованных состояний в области запрещенных для кристалла зон.

Ниже излагаются результаты наших исследований некоторых пленочных структур, включающих в себя аморфные гетеропереходы. На основе этих переходов были получены диоды с различными характеристиками.

При безмасляной откачке в вакууме не хуже 10^{-8} тор из медного водоохлаждаемого тигля под действием электронного луча испарялся кремний *p*-типа с удельным сопротивлением 10 ом·см. Аморфные слои толщиной 0,2 м наносились одновременно на пластины кремния *p*-типа с удельным сопротивлением 10 ом·см и *n*-типа с удельным сопротивлением

1 ом·см, находившиеся при комнатной температуре. При этом часть поверхности каждой из пластин для последующего контроля была защищена маской. Вольт-амперные характеристики полученных диодов приведены на рис. 1. Кривые 1 и 2, соответствующие тем участкам кремниевых пластин n - и p -типов соответственно, которые во время испарения были защищены масками, почти симметричны. Напротив, участки подложек, покрытые слоем аморфного кремния, обладали ярко выраженными выпрямляющими свойствами (кривые 3 и 4).

Хорошими выпрямляющими свойствами обладали также диоды, полученные нанесением на кремний p -типа с $\rho=10$ ом·см аморфных пленок Al_2O_3 толщиной порядка 1000 Å методом электронно-лучевого испарения сапфира. Эти диоды выдерживали обратные напряжения до 100 в и выше. Характерно, что структуры с пленками Al_2O_3 приобретали проводимость

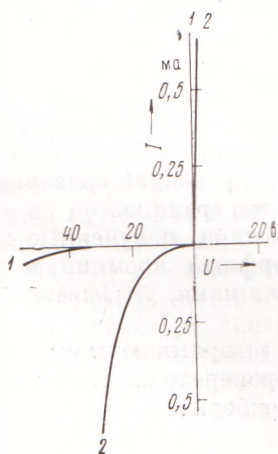


Рис. 3

Рис. 3. Характеристика пленочного фотодиода без освещения (1) и при освещении (2)

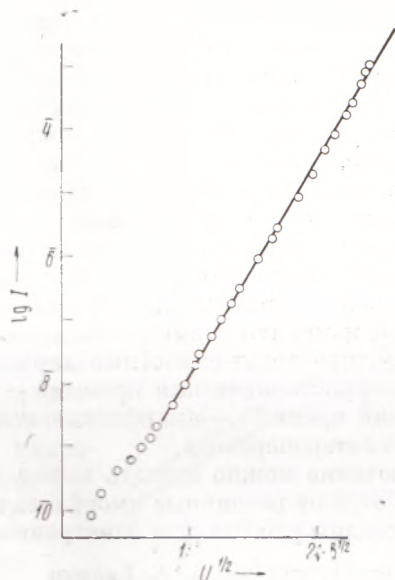


Рис. 4

Рис. 4. Обратная ветвь вольт-амперной характеристики диода с аморфной диэлектрической пленкой толщиной 1000 Å

в прямом направлении только после формовки, которая заключалась в приложении импульса прямого напряжения в несколько десятков вольт.

Диоды, обладающие свойствами стабилитрона, были получены осаждением на кремниевую подложку n -типа при комнатной температуре ионов, вытянутых из разряда в парах тетраэтиллолова. Энергия ионов, поступающих на подложку, не превышала 100 эв, толщина образовавшейся диэлектрической пленки составляла 1 м. На рис. 2 приведены вольт-амперные характеристики указанных диодов.

Были получены также диоды, обладающие фоточувствительностью. На рис. 3 в качестве примера приведены вольт-амперные характеристики одного из диодов без освещения и при освещении лампой накаливания мощностью 300 вт, помещенной на расстоянии 1 м от образца. Диод был получен осаждением на кремниевую подложку аморфной диэлектрической пленки в разряде, возбужденном в окиси углерода. Подобными характеристиками обладали также диоды, содержащие аморфные пленки Al_2O_3 или аморфного кремния. Известно, что фотодиоды с монокристаллическими гетеропереходами обладают гораздо более широкими спектральными характеристиками, чем фотодиоды на основе гомопереходов. Наш диод с ге-

теропереходом в системе монокристаллический кремний — аморфная окись алюминия сохраняет чувствительность порядка 10% от его максимальной чувствительности вплоть до длины волны 5000 Å.

Следует отметить, что полученные нами структуры на основе монокристаллического кремния и аморфного диэлектрика в зависимости от толщины диэлектрического слоя имеют, по-видимому, различные механизмы проводимости. Обратная ветвь вольт-амперной характеристики диода с аморфной диэлектрической пленкой толщиной 1000 Å, полученной осаждением из ионных пучков, приведена на рис. 4. Экспериментальные точки хорошо ложатся на прямую линию, что характерно для шоттковской эмиссии. Это дает основания считать, что ток в запорном направлении определяется надбарьерной эмиссией из металлического контакта в диэлектрик. Высокая проводимость в прямом направлении обусловлена малой высотой потенциального барьера на границе между кремнием и диэлектрической пленкой. Наши выводы согласуются с данными работы ⁽³⁾, в которой изучались диоды с диэлектрическими слоями тоньше 1000 Å.

Остается неясным, почему системы монокристаллический кремний — аморфный диэлектрик с диэлектрическими слоями толщиной около 1 м пропускают значительные токи в прямом направлении. Характерно, что такие же слои, осажденные на металл, позволяют получать конденсаторы. Следовательно, на металлических подложках эти же диэлектрические пленки не проводят ни в одном из направлений. Возможно, что в наших опытах осаждение аморфных диэлектрических пленок из ионизированных паров исходных соединений на кремниевую подложку сопровождалось накоплением вблизи границы диэлектрик — полупроводник связанных зарядов, которые изменяют величину барьера на этой границе.

Отметим, что вольт-емкостные характеристики, полученные нами для систем монокристаллический кремний — аморфный кремний и монокристаллический кремний — аморфная окись алюминия, указывают на наличие резкого гетероперехода.

В заключение можно сделать вывод, что выпрямляющими характеристиками обладают различные аморфные гетеропереходы. На их основе могут быть созданы работающие электронные приборы.

Институт металлургии им. А. А. Байкова
Академии наук СССР
Москва

Поступило
15 XII 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Сборн. Полупроводниковые приборы и их применение, под ред. Я. А. Федотова, в. 25, М., 1971, стр. 102. ² Б. Т. Коломиец, В. М. Любин и др., Физика и техника полупроводников, 5, в. 8, 1533 (1971). ³ R. S. Muller, R. Zuleeg, J. Appl. Phys., 35, № 5, 1550 (1964).