

Вестник МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 3 — 1965

УДК 539.293 : 546.289

Ю. В. АНДРОНОВ, А. Ю. АНУПЫЛЬД, В. И. ГУБАНКОВ,
Т. Н. ЯСТРЕБЦЕВА

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ В ОБРАЗЦАХ ГЕРМАНИЯ С ТОЧЕЧНЫМИ КОНТАКТАМИ

Исследуются колебания в образцах германия *n*- и *p*-типа с точечными контактами. Устанавливаются зависимости формы вольтамперных характеристик образцов и характер возникающих колебаний от свойств германия и контактов, а также от внешних условий.

В течение последнего времени в отечественной и зарубежной литературе, в частности в работах [1—11], стали появляться сообщения о том, что в образцах германия и кремния, имеющих плоскостные или точечные контакты, при определенных условиях наблюдаются собственные колебания, не связанные с наличием каких-либо внешних колебательных цепей. Опыты проводились в основном с образцами германия и кремния *n*- и *p*-типа. Схема включения образца была во всех случаях одинакова и состояла из последовательно включенных источника постоянного или импульсного напряжения, омического сопротивления и исследуемого образца.

Исследования зависимости характера колебаний от типа полупроводника, от удельного сопротивления образцов, от обработки поверхности, от вида контактов, от величины и направления электрического и магнитного полей, от освещения, температуры и т. д. носили качественный характер, и результаты, полученные разными авторами, часто оказывались противоречивыми. Вольтамперные характеристики образцов в одних случаях слабо отличались от линейных, в других — имели сильно выраженный нелинейный характер. В большинстве случаев на прямой ветви вольтамперных характеристик образцов участок с отрицательным сопротивлением не наблюдался.

Физическая природа наблюдаемых колебаний до сих пор не выяснена. Возможно, что в различных опытах наблюдались колебания, вызванные разными причинами, и именно этим объясняется кажущаяся противоречивость данных.

В настоящей работе приводятся результаты экспериментальных исследований колебаний в образцах германия *n*- и *p*-типа с точечными контактами и вольтамперных характеристик этих образцов в зависимости от материала образцов и контактов, от режима питания и от некоторых внешних факторов.

Для наблюдения колебаний и для снятия вольтамперных характеристик использовалась схема, приведенная на рис. 1. Величина сопротивления R могла изменяться от сотен ом до нескольких Ком. Сопротивление r изменялось от нуля до 50 ом.

Для задания в образец постоянного тока использовалась также схема на пентоде, имеющая внутреннее сопротивление порядка 10^5 ом.

Для создания точечных контактов использовались проволоочки из различных металлов и сплавов. Концы этих проволоочек диаметром от 5 до 120 мк затачивались электролитическим способом. Контакт металлического острия с поверхностью исследуемого образца осуществлялся с помощью микроманипулятора. Омические контакты создавались вплавлением InAs в n -германий и In в p -германий. Характеристики омических контактов были линейны для всех исследуемых образцов. Образцы имели форму прямоугольных брусков со средними размерами $1,5 \times 2 \times 10$ мм.

Типичные вольтамперные характеристики образцов n - и p -типа с точечными контактами, снятые на постоянном токе, приведены на рис. 2. Характеристики снимались в направлении увеличения тока (сплошные кривые) и в направлении уменьшения тока (пунктирные кривые). На обратных ветвях характеристик n - и p -типа наблюдается гистерезис. На прямой ветви характеристики образца из n -германия участок с отрицательной крутизной не обнаружен. Прямая ветвь вольтамперной характеристики образца p -германия имеет участок с отрицательной крутизной, причем характеристика, снятая при увеличении прямого тока от нуля, практически совпадает с характеристикой, снятой при уменьшении прямого тока до нуля, т. е. гистерезис отсутствует.

Вольтамперные характеристики образцов n - и p -германия, снятые в импульсном режиме при изменении длительности импульсов тока от 70 до 0,2 мксек и частоте повторения 50—300 гц, также имели участок с отрицательной крутизной во всем указанном диапазоне изменения длительности импульсов. При импульсах короче 0,2 мксек емкость осциллографа и соединительных проводов начинала заметно шунтировать образец с точечным контактом. Это затрудняло снятие вольтамперных характеристик на высоких частотах и определение частотной зависимости участков с отрицательным сопротивлением на этих характеристиках.

Колебания наблюдались в образцах p -типа только при прохождении постоянного или импульсного тока в прямом направлении и в образцах n -типа только при прохождении тока в обратном направлении. Типичные осциллограммы колебаний в режиме постоянного и импульсного тока приведены на рис. 3. Пороговые значения тока и напряжения, при которых колебания возникали и исчезали, соответствуют участку с отрицательным сопротивлением на прямой ветви характеристики для германия p -типа и на обратной ветви характеристики для германия n -типа.

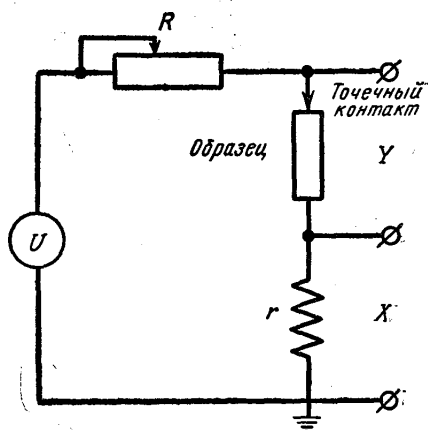


Рис. 1. Схема для наблюдения колебаний в образцах германия с точечными контактами и для снятия вольтамперных характеристик

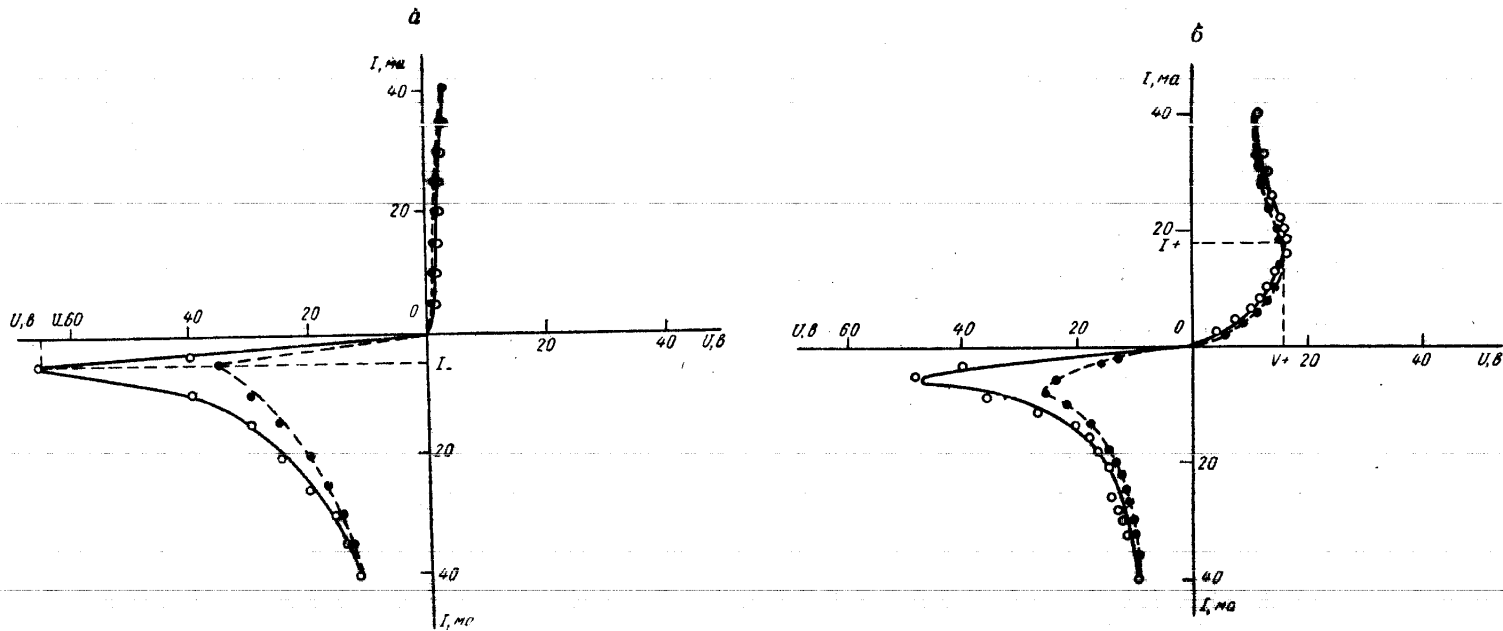
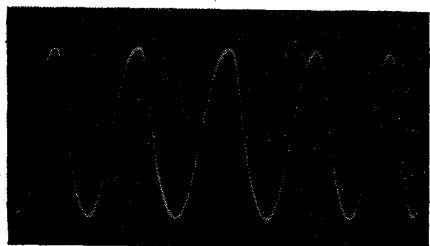
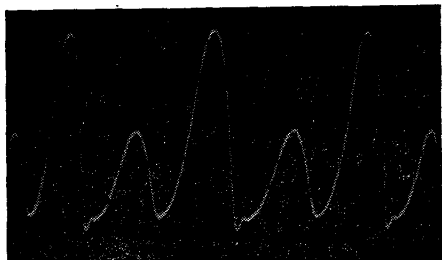


Рис. 2. Вольтамперные характеристики образцов германия с точечными металлическими контактами: *a* — образец *n*-типа германия, *б* — образец *p*-типа германия

В образцах *p*-типа в режиме постоянного тока при увеличении тока наблюдалось постепенное изменение формы колебаний от почти синусоидальной до пилообразной. Дальнейшее увеличение тока через образец приводило к уменьшению амплитуды и к изменению формы колебаний от пилообразной до близкой к синусоидальной. Частота ко-



a



b

Рис. 3. Осциллограммы колебаний в образцах из *n*-типа германия: *a* и *b* — снятые в режиме постоянного тока, *в* — снятая при задании в образец импульса постоянного тока



в

лебаний плавно увеличивается с увеличением тока вплоть до момента срыва колебаний.

В образцах *n*-германия в режиме постоянного тока изменение первоначальной формы колебаний, близкой к синусоидальной (см. рис. 3, *a*), с увеличением тока через образец происходит скачкообразно. Форма колебаний показана на осциллограмме (рис. 3, *b*). При дальнейшем увеличении тока форма колебаний снова скачком изменяется и имеет ту же частоту, что и в области возникновения колебаний (см. рис. 3, *в*).

Как правило, амплитуда колебаний сначала увеличивается с увеличением тока, затем достигает своего максимального значения и плавно уменьшается. Иногда это уменьшение идет до нуля плавно, иногда наблюдается срыв амплитуды от какого-то конечного значения до нуля. То же иногда происходит и при возникновении колебаний, т. е. возможен как мягкий, так и жесткий режим возбуждения колебаний в образцах *n*- и *p*-типа. Закономерность изменения амплитуды колебаний при изменении тока через образец при мягком режиме генерации одна и та же для образцов *n*- и *p*-типа. Для образца *p*-типа она показана на рис. 4.

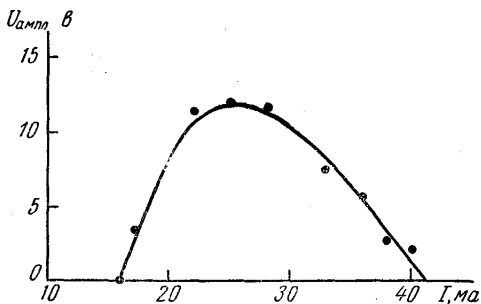


Рис. 4. Зависимость амплитуды колебаний от тока, задаваемого в образец, для образца из *p*-типа германия

Частота колебаний в образцах p -типа выше частоты колебаний в образцах n -типа и составляет 0,5—2 мГц. Частота колебаний в образцах n -типа обычно лежит в пределах 0,1—0,4 мГц.

Колебания, наблюдаемые в образцах из n -типа, значительно устойчивее по амплитуде и частоте, чем колебания в образцах p -типа.

Всегда, когда наблюдались колебания, вольтамперные характеристики образцов имели в области существования колебаний участок с отрицательной крутизной. В некоторых же случаях, несмотря на наличие участка с отрицательной крутизной, колебания не возникали.

Зависимость колебательных свойств и вольтамперных характеристик образцов от удельного сопротивления германия

В наших экспериментах использовались образцы p -типа с удельным сопротивлением 5,2; 10 и 73 ом·см и n -типа с удельным сопротивлением 7,1; 18, 38 и 53 ом·см. В зависимости от удельного сопротивления изменялся вид вольтамперной характеристики.

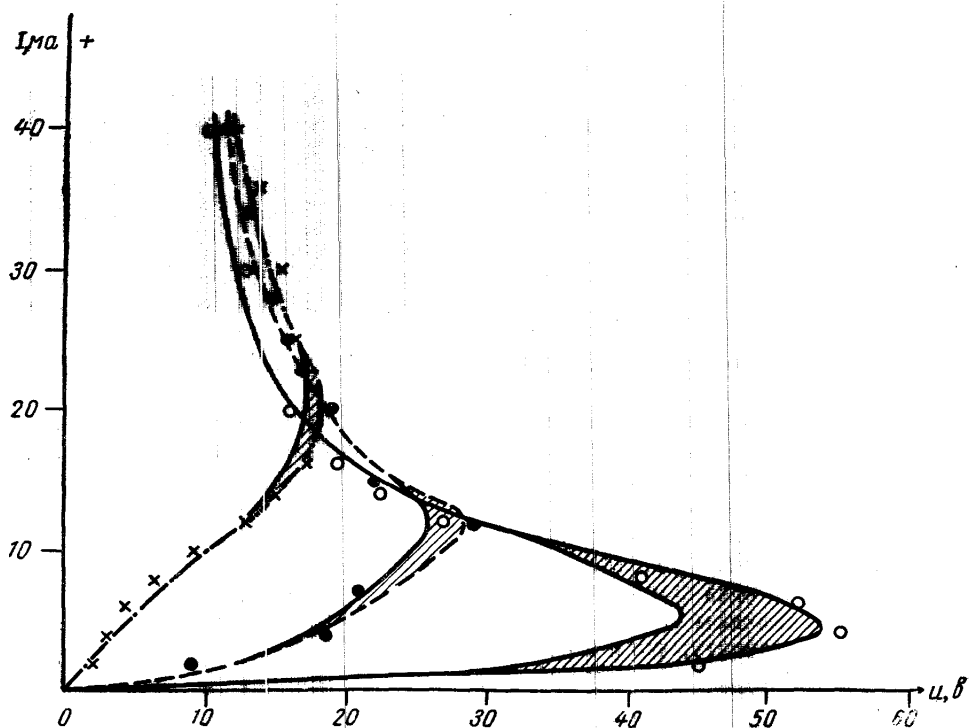


Рис. 5. Изменение вольтамперных характеристик образцов p -типа германия в зависимости от удельного сопротивления образцов — $\rho=73$ ом·см, — — — $\rho=10$ ом·см, — · — · — $\rho=5,2$ ом·см.

Для образцов p -типа, как видно из рис. 5, с уменьшением удельного сопротивления уменьшается величина V_+ и увеличивается I_+ . Участок с большим отрицательным сопротивлением как бы сжимается с уменьшением удельного сопротивления. Как показал эксперимент, участки вольтамперных характеристик с большим отрицательным сопротивлением (заштрихованные области) неустойчивы: вид их меняется во времени и зависит от положения точечного контакта на поверхности. Поэтому для каждого образца величины V_+ и I_+ не строго определены. Однако в среднем, исходя из статистических данных, значения V_+

и I_+ для образцов p -типа образуют указанную зависимость. При этом значения тока и напряжения, при которых колебания возникают и срываются ($V_{пор}$ и $I_{пор}$), слабо зависят от удельного сопротивления. Дело в том, что колебания у высокоомных образцов возникают лишь в той области отрицательного сопротивления, где вольтамперная характеристика является более стабильной и где отрицательное сопротивление невелико, а эта область для всех образцов лежит примерно в одинаковых пределах. Отрицательное сопротивление у образцов p -типа в этой области составляет 250—300 ом.

Для образцов n -типа изменение величины V_- и I_- в зависимости от удельного сопротивления определить не удалось, так как изменение величин V_- и I_- в зависимости от местоположения точечного металлического контакта на поверхности больше или, по крайней мере, того же порядка, что и возможное изменение этих величин в зависимости от удельного сопротивления образцов германия. Предельные значения токов и напряжений, при которых колебания возникают и исчезают, не зависят существенно от удельного сопротивления образцов n -германия.

Изменения частоты, амплитуды, формы колебаний в образцах n - и p -типа в зависимости от удельного сопротивления германия не было замечено. Диапазоны генерируемых частот и максимальные амплитуды колебаний оставались в одних и тех же пределах для образцов с различным удельным сопротивлением.

Зависимость колебательных свойств и вольтамперных характеристик образцов от обработки поверхности

Вид вольтамперной характеристики и характер колебаний в значительной степени зависят от обработки поверхности. Сначала снимались вольтамперные характеристики и определялся характер колебаний образцов с протравленной поверхностью, затем структура поверхности механически разрушалась и вновь снимались характеристики и наблюдались колебания.

Травление образцов производилось в кипящей перекиси водорода (30% раствор H_2O_2) с добавлением 4—5 капель 25%-ного раствора $NaOH$ на 100 мл раствора H_2O_2 . Образец протравливался в течение 7—10 минут, а затем промывался в горячей дистиллированной воде.

На рис. 6 видно, что вольтамперная характеристика образца p -типа с разрушенной поверхностью имеет участок с очень малым отрицательным сопротивлением, порядка нескольких ом. При этом величина V_+ уменьшается, а I_+ — увеличивается по сравнению со значениями V_+ и I_+ в образцах с протравленной поверхностью, т. е. прямая ветвь вольтамперной характеристики как бы выпрямляется. Выпрямляющие свойства точечного контакта ухудшаются: увеличивается обратный ток, уменьшается обратное напряжение пробоя. В случае точечного контакта с образцом

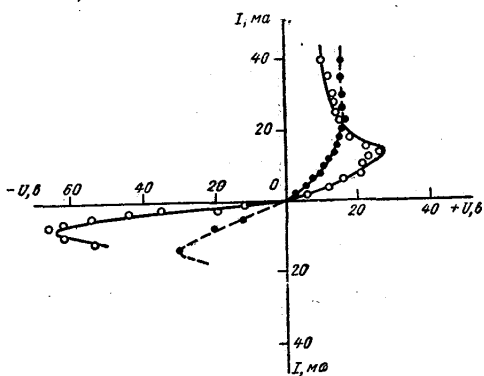


Рис. 6. Вольтамперные характеристики образцов p -типа германия с протравленной (сплошная линия) и непротравленной (пунктирная) поверхностью

с протравленной поверхностью колебания наблюдались, а в случае точечного контакта с тем же образцом, но с разрушенной поверхностью, колебания не наблюдались, а наблюдалась только лишь некоторая неустойчивость величины напряжения, снимаемого с образца.

В образцах *n*-типа наблюдалась аналогичная зависимость. При разрушении поверхности величина отрицательного сопротивления в области отрицательных токов уменьшается, уменьшается значение V_- , увеличивается I_- . Например, в одном из исследуемых образцов диапазон токов, в котором наблюдались колебания, уменьшился с 22 ма (14—36 ма) до 3 ма (3,4—3,7 ма). Максимальная амплитуда колебаний при этом уменьшилась с 10 до 1,2 в. Характеристика в области положительных токов практически не изменялась.

После нескольких дней хранения в атмосферных условиях поверхность предварительно протравленных образцов загрязняется, условия возникновения колебаний ухудшаются; колебания становятся менее стабильными, особенно в образцах *p*-типа.

Во всех проведенных экспериментах для создания точечных контактов использовались вольфрамовые проволочки.

Зависимость колебательных свойств и вольтамперных характеристик образцов от материала и диаметра точечных контактов, от давления на контакт и от расстояния между контактами

В качестве материала контактов использовались проволочки из Al, Cu, W, Fe, Au, Ni, Pt, W с Mo, W с Al, Au с Ga. Вольтамперные характеристики образцов из *n*- и *p*-германия с точечными контактами из указанных материалов во всех случаях имели вид, показанный на рис. 2, и во всех случаях наблюдались колебания в образцах *n*-типа при обратном смещении и в образцах *p*-типа при прямом смещении.

Работы выхода металлов, из которых были изготовлены точечные контакты, имели различные значения: у одних металлов они были больше, у других меньше, чем работа выхода у германия. Так как выпрямляющий характер контактов не зависел от работы выхода металла, то, по-видимому, на поверхности образца была большая концентрация поверхностных состояний.

Характер колебаний как в *n*-, так и в *p*-германии также не зависел от материала контактов.

Ввиду того что величины V_- , I_- , V_+ , I_+ при перемещении точечного контакта по поверхности сильно изменяются, влияние диаметра острия на указанные параметры характеристики можно определить только статистически на основе большого количества измерений. Многочисленные измерения показали, что при увеличении диаметра острия величины I_- , I_+ обычно немного возрастают, а значения V_- , V_+ не изменяются. Следовательно, начало возникновения отрицательного участка, независимо от диаметра контакта, изменявшегося от 5 до 120 мк, определяется величиной напряжения на точечном контакте. Некоторое увеличение тока с увеличением диаметра острия является, по-видимому, результатом увеличения поверхности соприкосновения острия с полупроводником, которую в случае полусферического острия и зернистой поверхности кристалла германия точно определить невозможно.

Кроме точечных прижимных контактов исследовались точечные алюминиевые контакты, сделанные методом термокомпрессии, с диаметром проволочки 40 мк. И в этом случае участки с отрицательным сопротивлением наблюдались на обратной ветви вольтамперной характеристики образцов *n*- и *p*-типа и на прямой ветви характеристики

образца p -типа. В n -типе колебания наблюдались на обратной, а в p -типе на прямой ветви характеристики и имели такой же характер, как и в случае точечных прижимных контактов.

Увеличение давления на острие вызывает небольшое возрастание значений V_- , I_- , V_+ , I_+ . Увеличение I_- , I_+ с ростом давления на контакт объясняется, по всей вероятности, увеличением площади контакта. Колебания обычно возникают легче при малых давлениях на контакт.

При перемещении точечного контакта по поверхности образца сильно изменяются величины V_- , I_- , V_+ , I_+ . Так, в образце p -типа с удельным сопротивлением $10 \text{ ом} \cdot \text{см}$ величины V_+ и I_+ изменялись в пределах $10\text{--}30 \text{ в}$ и $3\text{--}130 \text{ ма}$, а в образцах из n -типа с удельным сопротивлением $39 \text{ ом} \cdot \text{см}$ — в пределах $15\text{--}70 \text{ в}$ и $5\text{--}55 \text{ ма}$.

Многочисленными измерениями установлено, что на расстоянии от $0,2$ до 8 мм величины V_- , I_- , V_+ , I_+ не зависят от расстояния между точечным и омическим контактами. Следовательно, процессы, вызывающие появление участка с отрицательной крутизной и возбуждение колебаний, происходят в непосредственной близости к точечному контакту.

Зависимость колебательных свойств и вольтамперных характеристик образцов от температуры и освещения

Исследование зависимости колебательных свойств и вольтамперных характеристик образцов от температуры носило качественный характер и должно было определить только характер изменения колебаний и вольтамперных характеристик с уменьшением температуры.

Образец помещался в дьюаровский сосуд, до половины залитый жидким азотом. Образец укреплялся в специальном держателе. Постепенно опуская образец, можно было плавно изменять его температуру от комнатной, т. е. от 300° К до $110\text{--}120^\circ \text{ К}$.

Колебания в образцах n - и p -типа при понижении температуры становятся менее устойчивыми и по частоте и по амплитуде.

В образцах p -типа при понижении температуры исчезает участок с отрицательным сопротивлением на прямой ветви характеристики, что приводит к исчезновению колебаний. В образцах n -типа колебания меньше зависят от изменения температуры, однако диапазон токов, в котором колебания наблюдаются, сильно сужается при понижении температуры. Так, если при 300° К колебания существовали в пределах изменения тока от 16 до 40 ма , то при температуре 180° К колебания наблюдались только в диапазоне изменения тока от $33,5$ до 40 ма . Частота колебаний при этом уменьшается, амплитуда также уменьшается. Колебания становятся неустойчивыми в области температур $120\text{--}130^\circ \text{ К}$.

При исследовании влияния света образцы освещались обычной лампой накаливания в 75 вт при расстоянии от лампы до образца 10 см . Кроме того, в некоторых случаях производилось освещение ртутной лампой.

Воздействие света на вольтамперные характеристики и колебания сильно зависит от местоположения точечного контакта на образце: при некоторых положениях контакта освещение не влияло на колебания и вид характеристики, при других положениях контакта было заметно влияние света и на колебания и на вольтамперную характеристику. Это лишний раз подтверждает, что точечный контакт и приконтактная область играют основную роль в механизме колебаний.

При освещении образцов p -типа с удельным сопротивлением $5,2 \text{ ом} \cdot \text{см}$ свет не влиял на вид вольтамперной характеристики и на

колебания, что было проверено на большом количестве точек контакта металлического острия с поверхностью образца. При освещении образцов с удельным сопротивлением $10 \text{ ом} \cdot \text{см}$ в некоторых случаях, т. е. в определенных точках касания острия и поверхности, вольтамперная характеристика незначительно изменялась: увеличился участок с отрицательным сопротивлением, расширялся диапазон токов, при котором наблюдались колебания. При этом частота, форма и максимальная амплитуда колебаний не изменялись. В образце из компенсированного p -германия с удельным сопротивлением $73 \text{ ом} \cdot \text{см}$ при освещении наблюдалось заметное изменение характеристики: уменьшалась величина V_+ на $5-6 \text{ в}$. Увеличивалась максимальная амплитуда колебаний. Частота колебаний не изменялась.

При освещении образцов из n -типа наблюдается уменьшение величины V_- на $5-10 \text{ в}$. Участок с отрицательным сопротивлением и область колебаний смещаются вместе со всей характеристикой, не изменяясь по диапазону токов и напряжений. Амплитуда, частота и форма колебаний не изменяются.

Во всех проведенных опытах не было замечено, чтобы освещение срывало колебания.

Влияние внешних реактивностей на колебания в образцах германия с точечными контактами

Исследование зависимости условий возбуждения колебаний, их формы, амплитуды и частоты от внешних реактивностей проводилось с образцами n -типа для двух вариантов соединения внешних реактивностей с образцом: в одном случае параллельно образцу включалась емкость, в другом случае параллельно с образцом включались последовательно соединенные емкость и индуктивность. К этим двум случаям может быть сведено влияние внешних цепей на колебания в образце.

Исследование влияния емкости, включенной параллельно образцу, показало, что в случае, когда собственные колебания не наблюдаются, дополнительная емкость способствует их возбуждению. Форма колебаний при минимальной емкости, необходимой для возбуждения колебаний, близка к синусоидальной. В случае, когда колебания в образце уже существуют без внешней емкости, подключение емкости меняет форму колебаний и их частоту. Форма колебаний с увеличением внешней емкости изменяется от почти синусоидальной до пилообразной. Амплитуда колебаний с увеличением емкости изменяется незначительно, если, например, амплитуда собственных колебаний равна $7,9 \text{ в}$, то после подключения емкости, равной 6800 пф , она увеличивается до $8,6 \text{ в}$. При дальнейшем увеличении емкости колебания все более искажаются и при емкостях порядка 10^5 пф срываются.

На рис. 7 дана зависимость частоты колебаний от емкости, снятая экспериментально. Там же приведена теоретически рассчитанная зависимость частоты от емкости в предположении, что внешняя емкость присоединяется параллельно внутренней эквивалентной емкости образца. Как видим, наблюдается качественное совпадение зависимости, полученной экспериментально и рассчитанной теоретически. Различие кривых можно объяснить изменением внутренней эквивалентной емкости образца, которая может являться функцией частоты и амплитуды колебаний. Измерение частоты колебаний при различных значениях внешней емкости позволяет оценить величину внутренней эквивалентной емкости, которая в нашем случае оказалась равной 660 пф .

Исследование влияния на колебания индуктивности, включенной

так, как было указано, показало, что индуктивности менее 0,3 мкн не влияют на форму и частоту собственных колебаний. При увеличении индуктивности в системе возбуждаются колебания сложной формы.

Результаты этих измерений показывают, что влиянием паразитных реактивностей измерительных цепей на колебания в образцах с точечными контактами, как правило, можно пренебречь, так как $C_{\text{пар}}$ и $L_{\text{пар}}$ имеют величины существенно меньше, чем те минимальные значения C и L , которые оказывают влияние на характер колебаний.

Исследование влияния емкости, подключенной параллельно образцу p -типа, проводилось качественно. Наблюдалось повышение устойчивости колебаний и уменьшение частоты при увеличении подключаемой емкости.

В настоящее время природа наблюдаемых колебаний не установлена. Результаты проведенных исследований указывают на большое влияние состояния поверхности образцов на вид вольтамперной характеристики и характер колебаний. По-видимому, процессы, вызывающие колебания, протекают вблизи контакта острия с поверхностью.

Некоторые данные говорят в пользу плазменной теории. Предсказанный плазменной теорией диапазон частот (имеется в виду акустическая ветвь колебаний) порядка сотен килогерц совпадает с наблюдаемым на практике. Совпадают также и значения напряженности электрического поля — порядка нескольких десятков вольт на сантиметр, необходимого для возбуждения колебаний. Однако имеются факты, противоречащие плазменной теории (исчезновение колебаний с понижением температуры, отсутствие в некоторых случаях влияния света на характер колебаний). Для выяснения природы наблюдаемых колебаний необходимо дальнейшее исследование их взаимосвязи с внутренними параметрами полупроводника и с внешними условиями.

Выводы

В результате исследования вольтамперных характеристик образцов n - и p -типа германия с точечными металлическими контактами установлено, что на обратных ветвях характеристик участки с отрицательной крутизной наблюдался в образцах из n - и p -типа, а на прямой ветви участок с отрицательной крутизной обнаружен только в образцах p -типа.

Участок с отрицательной крутизной при обратном смещении существенно связан с тепловым процессом. Характерно наличие петли гистерезиса на этом участке при разном направлении изменения тока, т. е. при увеличении и уменьшении обратного тока через точечный контакт.

Участок с отрицательным сопротивлением на прямой ветви вольтамперных характеристик образцов p -типа, по-видимому, обусловлен поверхностным пробоем, который должен происходить легче в образцах p -типа, где обычно поверхностные и ионизованные объемные заряды совпадают по знаку.

По данным теории, величина напряжения поверхностного пробоя в случае совпадения знаков указанных зарядов равна 20—40 в. В наших

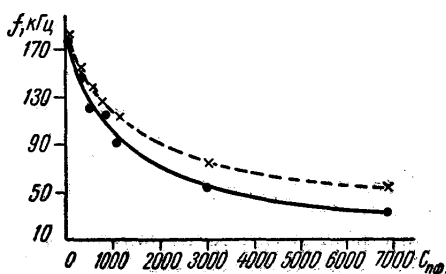


Рис. 7. Зависимость частоты колебаний от емкости, подключенной параллельно образцу с точечным контактом

экспериментах величина напряжения, соответствующего началу участка с отрицательной крутизной, равна 20—30 в, т. е. близка к расчетной. В образцах *p*-типа точечные контакты имели худшие выпрямляющие свойства, и напряжение на контакте достигало величины 20—30 в при токах порядка 10—20 ма. В образцах *n*-типа при тех же прямых токах напряжение на контакте не превышало 3—4 в, что недостаточно для возникновения поверхностного пробоя.

При включении образцов с точечными контактами в цепь постоянного тока колебания наблюдались в случае *n*-типа только при обратном токе и в образцах *p*-типа только при прямом токе, в определенном диапазоне изменения тока через образец, соответствующем участку характеристики с отрицательной крутизной. Следовательно, возбуждение колебаний связано с типом носителей тока в образце.

Колебания наблюдались при задании в образец постоянного тока, это говорит о том, что колебания происходят при модуляции проводимости образца.

Всегда, когда существуют колебания, на вольтамперной характеристике наблюдается область с отрицательным сопротивлением. В то же время в некоторых случаях, несмотря на наличие области с отрицательным сопротивлением, колебания не наблюдались. Следовательно, существование участка с отрицательной крутизной на вольтамперной характеристике образца с точечным контактом является необходимым, но недостаточным условием для возбуждения колебаний.

Колебания в образцах *n*- и *p*-типа имеют одинаковый характер зависимости амплитуды колебаний от тока через образец, от состояния поверхности, от температуры, от освещения. С другой стороны, частоты колебаний в образцах *n*-типа ниже, чем частоты колебаний в образцах *p*-типа, колебаний в германии *n*-типа значительно устойчивее.

Природа наблюдаемых колебаний до сих пор не ясна. По-видимому, колебания вызваны контактно-поверхностными эффектами. Если и можно говорить об объемных явлениях, в частности о плазменной теории возникновения колебаний, то нужно рассматривать объем полупроводника только в непосредственной близости у контакта.

Авторы выражают благодарность сотрудникам кафедры полупроводников В. В. Остробородовой и И. А. Куровой за ценные советы и помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Benzer S. J. *Ap. Phys.*, 20, 804, 1949.
2. Kikuchi M., Tagui Y. *J. Phys. Soc. Japan*, No. 10, 722, 1965.
3. Иванов Ю. Л., Рывкин С. М. *ЖТФ*, 28, вып. 4, 774, 1958.
4. Cardona M., Rupprecht W. J. *Ap. Phys.*, 31, 1826, 1960.
5. Kikuchi M. *J. Phys. Soc. Japan*, 17, No. 1, 240, 1962.
6. Kikuchi M., Abe J. J. *J. Phys. Soc. Japan*, 17, No. 8, 1268, 1962.
7. Муравский Б. С. «Физика твердого тела», 4, вып. 9, 2485, 1962.
8. Steele M. C., Lampert M. A., Ando K. *J. Phys. Soc. Japan*, 17, No. 11, 1729, 1962.
9. Kikuchi M. *Japan. J. Ap. Phys.*, 2, No. 1, 31, 1963.
10. Курова И. А., Калашников С. Г. «Физика твердого тела», № 11, 3224, 1963.
11. Radha T. S. *Indian J. Pure and Ap. Phys.*, 1, No. 11, 388, 1963.

Поступила в редакцию
8. 4 1964 г.

Кафедра
физики колебаний