

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

## КОЛЕБАНИЯ В ОБРАЗЦАХ ГЕРМАНИЯ С ТОЧЕЧНЫМИ КОНТАКТАМИ

Начиная с 1958 г. в литературе 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 какими-либо внешними колебательными цепями [1, 2, 3].

В настоящем сообщении приводятся некоторые предварительные результаты исследования колебаний в образцах германия *n*- и *p*-типа с плоскостными и точечными контактами при включении образцов в цепь постоянного или импульсного напряжения.

Схемы включения образцов для наблюдения колебаний и для снятия вольтамперных характеристик приведены на рис. 1. Были исследованы образцы *p*-германия с удельным сопротивлением 5, 2, 10 и 73 ом·см и *n*-германия с удельным сопротивлением 7, 1, 18 и 39, 53 ом·см. Образцы имели форму прямоугольных брусков со средними размерами 1,5·2·10 мм.

Плоскостные контакты создавались сплавлением в германий *In* и *InAs*. В *n*-германии для выпрямляющего контакта использовался *In*, для омического — *InAs*, в *p*-германии — для выпрямляющего — *InAs*, для омического — *In*. Вольтамперные характеристики исследуемых образцов в режиме постоянного тока и напряжения были аналогичны характеристикам плоскостных диодов и имели коэффициенты выпрямления от 10 до 70. При снятии характеристик в импульсном режиме (длительность импульсов тока 10—50 мксек, частота повторения — 50—100 гц) на прямой ветви вольтамперной характеристики в *p*-германии наблюдался участок с отрицательной крутизной в области тока от 2 до 6 а при напряжениях от 60 до 100 в.

Во всех образцах с плоскостными контактами колебания не наблюдались ни в режиме постоянного тока или напряжения, ни в импульсном режиме.

Для создания точечных контактов использовались проволочки из различных металлов и сплавов. Концы этих проволочек затачивались электролитическим способом и имели диаметр от 5 до 100 мк. Контакт металлического острия с исследуемым образцом германия осуществлялся с помощью микроманипулятора. Омические контакты

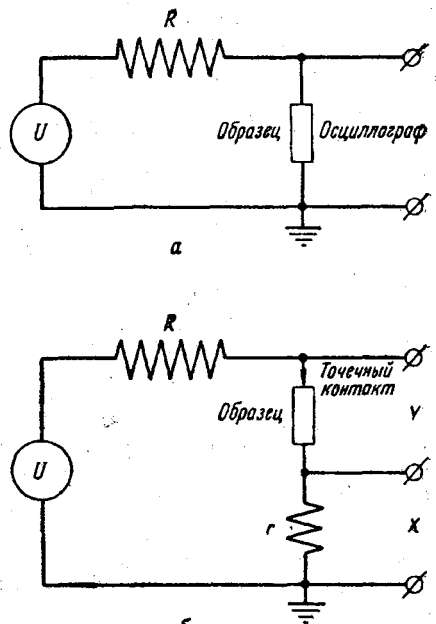


Рис. 1

на всех образцах германия были вплавленные. Таким образом, нелинейность вольт-амперной характеристики была обусловлена только точечным контактом. Типичные вольт-амперные характеристики образцов германия  $n$ - и  $p$ -типа с точечными контактами, снятые на постоянном токе, приведены на рис. 2 и 3. При обратном смещении (+ на  $n$ -германии, — на  $p$ -германии) наблюдается гистерезис на участках с отрицательной крутизной для  $n$ - и  $p$ -германия. Кривые 1 соответствуют увеличению тока через точечный контакт, кривые 2 — уменьшению тока до нуля. На прямой ветви вольт-амперной характеристики образца из  $n$ -германия участка с отрицательной крутизной не обнаружено. Прямая ветвь вольт-амперной характеристики образца из  $p$ -германия имеет участок с отрицательной крутизной, причем характеристика, снятая при увеличении

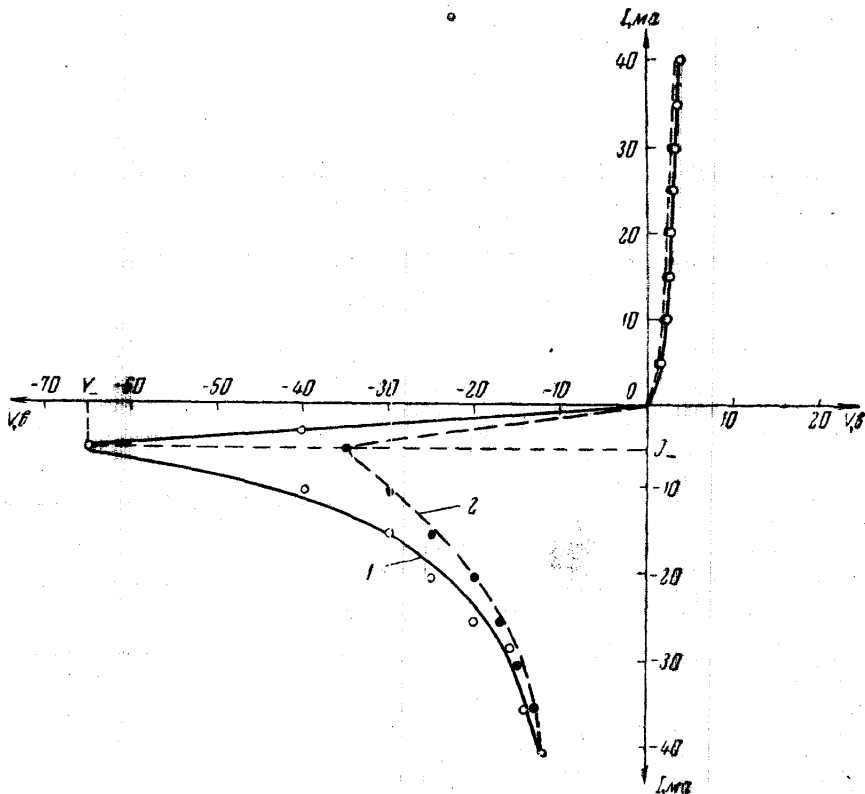


Рис. 2

прямого тока от нуля, в большинстве случаев совпадает с характеристикой, снятой при убывании прямого тока до нуля. В импульсном режиме участок с отрицательной крутизной не наблюдался на прямой ветви при длительности импульса тока менее 0,2 мксек, а на обратной ветви — при длительности менее 2—3 мксек.

В отличие от результатов ранее опубликованных работ нами обнаружены области существования колебаний на обратной ветви вольт-амперной характеристики  $n$ -германия в области с отрицательной крутизной. На прямой ветви вольт-амперной характеристики в  $n$ -германии колебания не наблюдались.

В образцах  $p$ -германия колебания наблюдались только на прямой ветви характеристики в области с отрицательной крутизной. Колебания, наблюдаемые в образцах  $n$ -германия, значительно устойчивее по частоте и по амплитуде, чем колебания в образцах  $p$ -германия.

Был проведен ряд экспериментов, показывающих, что наблюдаемые колебания не связаны с какими-либо паразитными параметрами внешних цепей, а обусловлены процессами в образцах германия вблизи точечных контактов.

Следует отметить, что всегда, когда наблюдались колебания, вольт-амперные характеристики имели в области существования колебаний участок с отрицательной крутизной. В некоторых же случаях, несмотря на наличие участка с отрицательной крутизной, колебания не возникали. Отсюда можно сделать вывод, что причины, обуслов-

ливающие появление участка с отрицательной крутизной, и причины возникновения колебаний различны.

Как уже было указано, точечные контакты осуществлялись из разных металлов. Образцы *n*- и *p*-германия исследовались с точечными контактами из Fe, Ni, W, W с Mo, W с Al, Cu, Al, Au с Ga, Pt. Во всех случаях вольтамперные характеристики контактов имели вид, указанный на рис. 2 и 3, и во всех случаях наблюдались колебания.

Исследование образцов германия с различным удельным сопротивлением показало, что в образцах *p*-германия с уменьшением удельного сопротивления уменьшалась величина  $V_+$  и увеличивалось значение  $I_+$  (см. рис. 3). В образцах *n*-германия не удалось обнаружить закономерности изменений величин  $V_-$  и  $I_-$  в зависимости от удельного

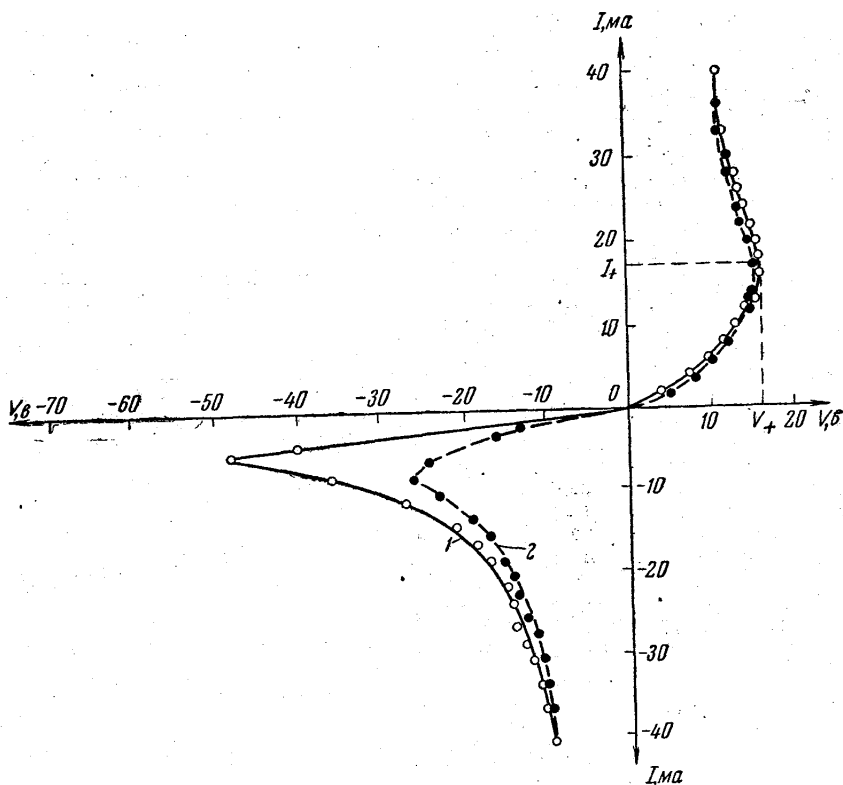


Рис. 3

сопротивления. Во всех исследуемых образцах с указанными величинами удельных сопротивлений колебания наблюдались.

Частота колебаний в образцах *n*- и *p*-германия изменялась в зависимости от образца от 0,1 до 1,5 мГц, но, как правило, частота колебаний в *n*-германии была ниже, чем в *p*-германии. При увеличении тока через образец частота колебаний в *n*-германии уменьшалась, а в *p*-германии — увеличивалась. Форма колебаний могла изменяться в зависимости от режима от синусоидальной до разрывной. Колебания существовали в некоторой области изменения тока через образец, которая находилась в пределах участка с отрицательной крутизной. При изменении тока через образец в этой области амплитуда колебаний монотонно возрастала до какого-то максимального значения и затем плавно спадала до нуля. Например, в *n*-германии при задании рабочей точки на характеристике с координатами  $I_0=20$  ма и  $V_0=-26$  в максимальная амплитуда колебаний равна 11 в. В *p*-германии при  $I_0=28$  ма и  $V_0=16$  в максимальная амплитуда колебаний равна 5 в.

Обнаружено, что при перемещении точечного контакта по поверхности образца сильно изменяются значения  $V_+$ ,  $I_+$ ,  $V_-$  и  $I_-$  (см. рис. 2 и 3) как в *n*-, так и в *p*-типе германия. Так, в образце *p*-германия величины  $V_+$  и  $I_+$  обычно изменялись в пределах 10—30 в и 10—30 ма, а в образце *n*-германия величины  $V_+$  и  $I_+$  — в пределах 30—70 в и 5—15 ма.

При увеличении диаметра острия от 5 до 100 мк значения  $V_+$  и  $I_+$  немного возрастали, а значения  $V_-$  и  $I_-$  оставались без изменения. При увеличении давления на острие наблюдалось увеличение  $V_+$ ,  $I_+$ ,  $V_-$ ,  $I_-$ .

Травление поверхности изменяет вольтамперные характеристики образцов и их колебательные свойства. У образцов  $p$ -типа германия с непрозрачной поверхностью участок с отрицательной крутизной уменьшается и колебания не наблюдаются. В отличие от образцов  $p$ -типа в образцах из  $n$ -типа германия с непрозрачной поверхностью колебания наблюдаются, однако диапазон токов, в котором колебания существуют, сужается, а амплитуда колебаний уменьшается. При травлении образцов  $n$ -германия увеличивается  $V_-$  и уменьшается  $I_-$ , а травление образцов  $p$ -германия увеличивает  $V_+$  и уменьшает  $I_+$ .

При освещении образцов  $n$ -германия с различным удельным сопротивлением в некоторых случаях наблюдается уменьшение величины  $V_-$ . При освещении образцов  $p$ -германия с  $\rho = 5,2 \text{ ом} \cdot \text{см}$  не наблюдалось изменения вида вольтамперных характеристик, частоты, максимальной амплитуды и формы колебаний. В образцах  $p$ -германия с  $\rho = 10 \text{ ом} \cdot \text{см}$  иногда наблюдалось расширение диапазона изменения тока, соответствующего участку с отрицательной крутизной. Частота, максимальная амплитуда и форма колебаний не изменялись. Освещение образца  $p$ -германия с  $\rho = 73 \text{ ом} \cdot \text{см}$  во многих случаях приводило к уменьшению  $V_+$ , при этом величина  $I_+$  не изменялась. Максимальная амплитуда колебаний увеличивалась, частота и форма колебаний оставались неизменными.

Исследование изменения вольтамперных характеристик образцов и их колебательных свойств в зависимости от изменения температуры показало, что по мере уменьшения температуры в образцах  $p$ -типа германия амплитуда колебаний уменьшалась и при температуре  $-150^\circ$  колебания исчезали. В образцах  $p$ -германия при уменьшении температуры до  $-150^\circ$  увеличивалось значение  $V_-$ , величина  $I_-$  не изменялась. Амплитуда и частота колебаний уменьшались, сужался диапазон токов, в котором колебания существуют, колебания становились менее стабильными.

Было исследовано влияние внешних реактивностей на частоту, форму и амплитуду собственных колебаний образцов. Оказалось, что включение параллельно образцу емкостей менее 300 пкф не оказывает заметного влияния на колебания, но расширяет диапазон токов, при котором колебания наблюдаются. Включение индуктивности менее 100 мкгн также не влияет на характеристики колебаний. Лишь при достаточно больших значениях внешних  $C$  и  $L$  становится заметным их влияние на характер колебаний в образцах. Дальнейшие эксперименты в этом направлении позволят установить эквивалентную колебательную схему образцов и значение эквивалентных параметров этой схемы. Предварительные расчеты показывают, что эквивалентная емкость образцов имеет порядок  $10^3 \text{ пкф}$ , а эквивалентная индуктивность имеет порядок  $10^2 \text{ мкгн}$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов Ю. Л., Рывкин С. М. ЖТФ, 28, вып. 4, 774, 1958.
2. Cardona M., Rupprecht W. J. Ap. Phys., 31, 1826, 1960.
3. Kikuchi M. Japan. J. Ap. Phys., 2, No. 1, 31—46, 1963.

Поступила в редакцию  
24. 12 1963 г.

Кафедра  
физики колебаний