

СВЧ ПРОВОДИМОСТЬ ОБРАЗОВАННЫХ СКОЛОМ ПОВЕРХНОСТЕЙ Ge

Ю.А.Осипьян, В.И.Тальянский, А.А.Харламов

Обнаружено, что образцы Ge, содержащие свежие поверхности, полученные сколом в жидком гелии, обладают заметной проводимостью в СВЧ диапазоне. В ряде случаев эта поверхностная проводимость может намного превышать объемную. Исследованы температурные зависимости поверхностной проводимости.

Серьезный прогресс, наметившийся в последние годы в изучении физических свойств поверхности твердых тел, во многом связан с успехами экспериментальных методов создания и изучения атомарно-чистых поверхностей. Наряду с расколом кристалла в глубоком вакууме одним из таких методов может служить раскол кристалла в инертной среде при низкой температуре.

В частности, при исследовании на постоянном токе электрических свойств германия использовался раскол кристалла в жидком азоте [1 — 3].

Мы исследовали изменение проводимости Ge в связи с образованием свежей поверхности на расколе кристалла, помещенного в жидкий гелий. Чтобы избежать проблем, связанных с нанесением контактов, эксперименты проводились в СВЧ диапазоне. Результаты измерений, которые приведены ниже, показывают, что образование свежей поверхности в германии существенно увеличивает СВЧ поглощение.

Исследуемые образцы помещались в цилиндрический резонатор, в котором возбуждалось колебание E_{010} на частоте 9500 МГц. Образцы имели форму параллелепипеда с размерами $3 \times 3 \times 4$ мм³. Раскальвались образцы с помощью сапфирового стержня, вводимого через отверстие в стенке резонатора. Обычно при расколе образцы разваливались на несколько частей. Мы измеряли ширину резонансной кривой резонатора с образцом (исходным и расколотым) и затем вычитали из нее ширину резонансной кривой пустого резонатора. Полученная таким образом величина Δf определяется потерями СВЧ мощности в объеме и на поверхности образца и может поэтому служить мерой его электрической проводимости. Измерения проводились в следующем порядке. Сначала измерялась температурная зависимость Δf для исходного образца в интервале 4,2 — 50К, причем для всех исследованных образцов практически оказалось $\Delta f = 0$ при $T < 10$ К. После этого резонатор заливался жидким гелием и образец раскальвался. Сразу же после раскола ширина резонансной кривой резко увеличивалась, что свидетельствовало о возникновении проводимости. Величина этой проводимости не менялась, если при неизменной температуре резонатора жидкий гелий испарялся и образец оказывался в газообразном гелии. Мы исследовали образцы Ge различной степени легирования: *n*-Ge с концентрацией доноров (сурьма) 10^{11} см⁻³ и $5 \cdot 10^{13}$ см⁻³ и *p*-Ge с концентрацией акцепторов (галлий) $\sim 10^{13}$ см⁻³. Полученные результаты изображены на рисунках 1 — 3 прежде всего, показывают, что при образовании свежей поверхности проводимость всех образцов Ge независимо от легирования сильно возрастает. Для всех образцов Ge при $T < 10$ К

обычная объемная проводимость очень мала. Будем условно называть обнаруженную нами СВЧ проводимость поверхностной. Ее температурная зависимость оказалась довольно сложной. Если увеличивать температуру свежерасколотых образцов от 4,2К до примерно 10К, то поверхностная проводимость их практически не меняется (рисунки 1 – 3).

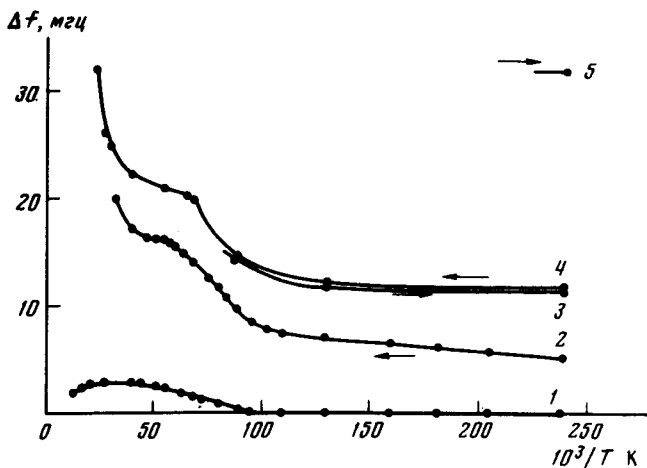


Рис. 1. Данные для образца n -Ge с концентрацией мелких доноров 10^{11} см^{-3} : 1 – исходный образец до разлома, 2 – нагрев после излома, 3 – последующее охлаждение, 4 – второй нагрев, 5 – значение Δf , полученное после охлаждения от 40К

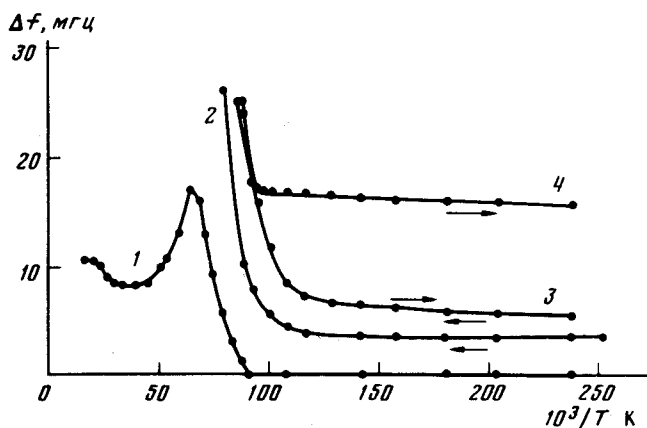


Рис. 2. Данные для образца n -Ge с концентрацией мелких доноров $5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$: 1 – исходный образец до излома, 2 – нагрев после излома, 3 – охлаждение после нагрева до 25К, 4 – охлаждение после нагрева до 50К

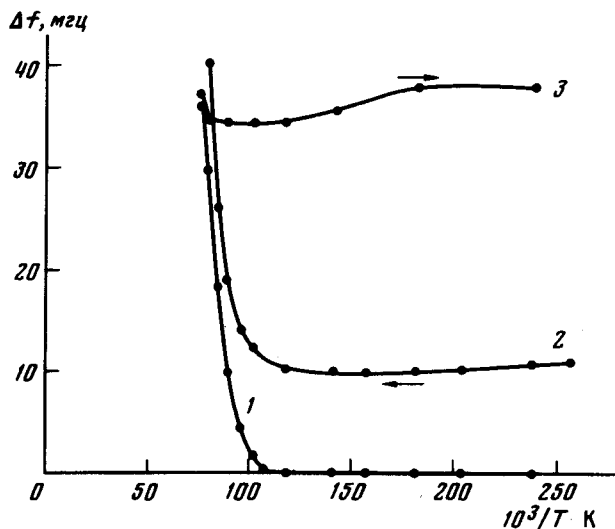


Рис. 3. Данные для образца p -Ge с концентрацией мелких акцепторов $\sim 10^{13} \text{ см}^{-3}$: 1 – исходный образец до излома, 2 – нагрев после излома, 3 – охлаждение, после нагрева до 30К

Также она не меняется при охлаждении от 4,2 до 1,4К. Однако при дальнейшем нагревании в атмосфере газообразного гелия от 10К и выше поверхностная проводимость образцов Ge еще больше возрастает. Если же затем образец, нагретый до температуры 30 – 40К охлаждать, то его поверхностная проводимость сначала падает, а затем не изменяется, однако, точки не ложатся на кривую, полученную при нагреве, т. е. имеет место температурный гистерезис. При охлаждении с некоторой температуры и ниже поверхностная проводимость опять перестает зависеть от температуры, но остается существенно больше, чем при той же температуре перед нагреванием (гистерезис). Все эти данные для образцов различно легированного германия приведены на рисунках 1 – 3. При развакуумировании системы образцы сразу же теряли свою высокую проводимость и величина проводимости, а также ее температурная зависимость для всех образцов совпадала со значениями, которые наблюдались до раскалывания. Настоящая статья имеет своей целью сообщить о наблюдении самого факта роста СВЧ проводимости при раскалывании германия, а также об аномальной температурной зависимости этой проводимости. Имеющихся экспериментальных данных пока недостаточно, чтобы с уверенностью судить о механизме обнаруженной проводимости. Наиболее вероятным нам кажется то, что проводимость обусловлена инверсным слоем вблизи поверхности, возникающем при захвате электронов из валентной зоны на поверхностные состояния [4].

Институт физики твердого тела
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
19 июля 1979 г.

Литература

- [1] Г.А.Катрич, О.Г.Сарбей. ФТТ, 5, 3321, 1963.
- [2] Г.А.Катрич, О.Г.Сарбей, Д.Т.Тарашенко. ФТТ, 7, 1352, 1965.
- [3] F.Proix, P.Handler. Surf. Scil., 5, 81, 1966.
- [4] D.R.Palmer, S.R.Morrison, C.E.Dauenbaugh. Phys. Rev., 129, 608, 1963.