

АНИЗОТРОПИЯ ДИСЛОКАЦИОННОЙ СВЧ ПРОВОДИМОСТИ n -Ge

Ю.А.Осипьян, В.М.Прокопенко, В.И.Тальянский,

А.А.Харламов, С.А.Шевченко

Показано, что дислокационная СВЧ проводимость, обнаруженная ранее [1 – 3] обладает анизотропией, величина которой согласуется с анизотропией дислокационной структуры.

В работах [1 – 3], было обнаружено, что кристаллы Ge и Si с дислокациями обладают заметной СВЧ проводимостью при таких низких температурах, когда в зонах нет свободных носителей тока. Поэтому было выдвинуто предположение, что эта проводимость связана с движением носителей тока вдоль ядер дислокаций (дислокационная проводимость). Такой механизм должен приводить к анизотропии проводимости. Ниже приводятся результаты экспериментов, поставленных для проверки этого предположения. Образцы для деформации вырезались в форме параллелепипедов с размерами $3 \times 4 \times 20 \text{ мм}^3$ вдоль направлений $[\bar{1}\bar{1}0]$, $[001]$ и $[110]$ соответственно. Дислокации вводились при изгибе образца [2]. Источником дислокаций служила царапина, наносимая посередине широкой грани вдоль направления $[110]$. Дислокационная структура, получающаяся при таком способе деформирования подробно описана в [4]. Если бы источником дислокаций в наших образцах была только царапина, то можно было бы приготовить образец в котором дислокации лежали только вдоль направления $[\bar{1}\bar{1}0]$. Ямки травления при этом должны наблюдаться только на грани $(\bar{1}\bar{1}0)$ (рис.1). Однако мы наблюдали ямки травления и на грани (110) . Поэтому мы полагаем, что в объеме образца работали источники дислокационных петель (рис.1). Боковые участки петель, лежащие вдоль направлений $[1\bar{0}\bar{1}]$ и $[0\bar{1}1]$, нарушали идеальную анизотропию дислокационной структуры. Плотности дислокаций, лежащих вдоль разных направлений можно определить, подсчитывая плотность ямок травления на гранях $(\bar{1}\bar{1}0)$ и $(110) - N_D^{(\bar{1}\bar{1}0)}$ и $N_D^{(110)}$. Если СВЧ проводимость происходит вдоль дислокаций, то можно показать, что отношение проводимостей вдоль направлений $[\bar{1}\bar{1}0]$ и $[110]$ равно

$$\frac{\sigma_{[\bar{1}\bar{1}0]}}{\sigma_{[110]}} = 2 \frac{N_D^{(\bar{1}\bar{1}0)}}{N_D^{(110)}} .$$

Коэффициент 2 в этом выражении определяется пространственной ориентацией боковых участков петель. Для измерений из деформированных образцов вырезались диски диаметром $\sim 3 \text{ мм}$, и толщиной $\sim 0,7 \text{ мм}$. Образцы помещались в проходной цилиндрический резонатор, в котором возбуждалось колебание TE_{111} на частоте 9500 МГц.

Резонатор состоял из двух частей – верхней и нижней, причем соединение этих частей проходило вдоль линий СВЧ тока, текущего по стенкам резонатора. Образец помещался в центре резонатора на тонком тефлоновом диске, скрепленном с нижней частью резонатора. В верх-

ней части находились щели связи резонатора с генератором СВЧ колебаний и с детектором, сигнал с которого подавался на осциллограф.

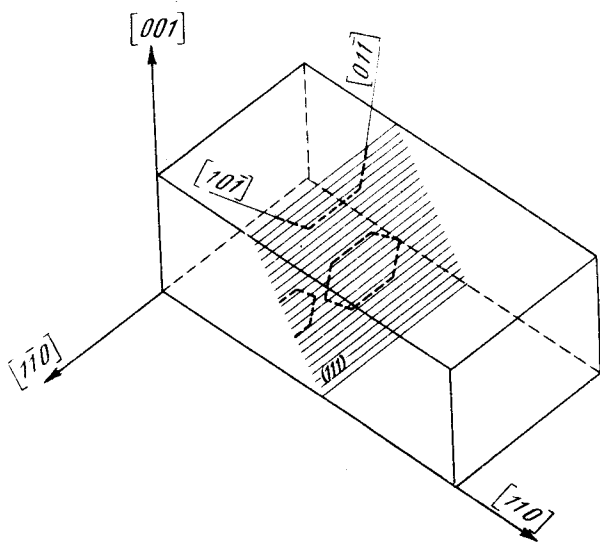


Рис.1. Предполагаемая дислокационная структура образца. Изображена только одна плоскость скольжения (111)

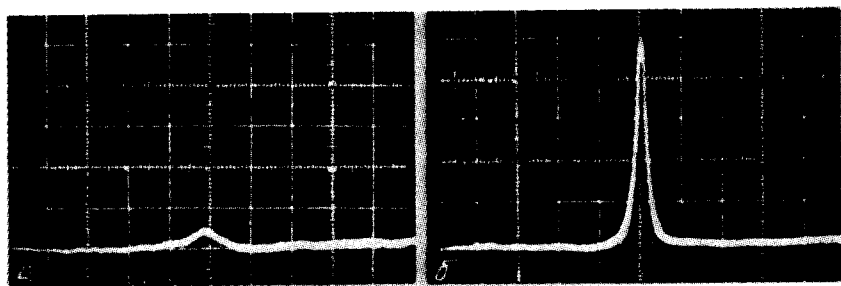


Рис.2. *a* – Резонансная кривая для направления электрического поля вдоль $[1\bar{1}0]$; *b* – то же, но поле направлено вдоль $[110]$. В обоих случаях мощность СВЧ генератора была одинаковой

Генератор работал в режиме частотной модуляции и на экране осциллографа наблюдалась резонансная кривая. Нижнюю часть резонатора с образцом можно было поворачивать относительно верхней; при этом направление электрического поля в резонаторе, разумеется, не менялось, а изменялся угол между направлением поля и направлением дислокационных линий. Измерения проводились при $T = 4,2\text{K}$. Оказалось, что добротность резонатора, а значит и проводимость образца, зависят от взаимной ориентации дислокаций и электрического поля. Поворачивая образец мы находили ориентации с наибольшей и наименьшей добротностью резонатора. Всегда оказывалось, что

минимальная добротность (максимальная проводимость) наблюдается, когда электрическое поле направлено вдоль $[1\bar{1}0]$. Максимальная добротность наблюдалась, когда поле было перпендикулярно направлению $[1\bar{1}0]$. Типичные резонансные кривые, наблюдавшиеся для этих двух ориентаций образца показаны на рис.2, а и 2, б соответственно. Изменяя ширину резонансных кривых, мы находим $\sigma_{[1\bar{1}0]}$ и $\sigma_{[110]}$. Результаты измерений представлены в таблице. Она содержит данные об анизотропии дислокационной структуры, анизотропии СВЧ проводимости при 4,2 К и концентрациях примесных доноров в исходных образцах.

№ образца	Концентр. доноров см^{-3}	$N_D^{(1\bar{1}0)}, \text{см}^{-2}$	$N_D^{(110)}, \text{см}^{-2}$	Анизотр. проводим. (расчет)	Анизотр. проводим. (эксперим.)
1	10^{13}	$3 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6$	6	10 ± 3
2	$2 \cdot 10^{13}$	$3,5 \cdot 10^5$	$7 \cdot 10^4$	10	11 ± 3
3	$2 \cdot 10^{13}$	$4 \cdot 10^6$	$7 \cdot 10^5$	11	11 ± 3
4	10^{14}	$5 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^6$	6,6	$7,8 \pm 0,5$
5	10^{14}	$6 \cdot 10^6$	$1,3 \cdot 10^6$	9	$7 \pm 0,5$

Видно, что данные об ожидаемой анизотропии проводимости, вычисленной на основе сведений об анизотропии дислокационной структуры хорошо согласуются с экспериментом. Мы также измеряли отношение $\frac{\sigma_{[1\bar{1}0]}}{\sigma_{[110]}}$ для образцов 4 и 5 при температуре 1,4 К. Оказалось, что с понижением температуры значения проводимостей $\sigma_{[1\bar{1}0]}$ и $\sigma_{[110]}$ уменьшились каждая почти в три раза, в то время как их отношение осталось прежним. Этот факт также свидетельствует о том, что анизотропия СВЧ проводимости определяется только анизотропией дислокационной структуры.

В заключение авторы выражают благодарность А.И.Колюбакину за полезное обсуждение.

Институт физики твердого тела
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
7 июня 1979 г.

Литература

- [1] В.А.Гражулис, В.В.Кведер, В.Ю.Мухина, Ю.А.Осипьян. Письма в ЖЭТФ, 24, 164, 1976.
- [2] Ю.А.Осипьян, В.И.Тальянский, С.А.Шевченко. ЖЭТФ, 72, 1543, 1977.
- [3] Ю.А.Осипьян, В.И.Тальянский, А.А.Харламов, С.А.Шевченко. ЖЭТФ, 76, 1655, 1979.
- [4] В.Н.Ерофеев, В.И.Никитенко, В.И.Половинкина, Э.В.Суворов. Кристаллография, 16, 190, 1971.