

Письма в ЖЭТФ, том 17, вып. 1, стр. 22 - 24.

5 января 1973 г.

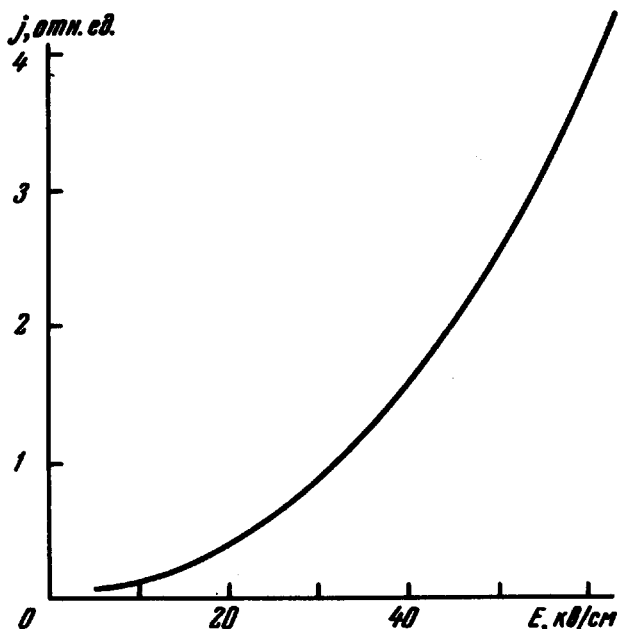
РЕЗОНАНСНОЕ ТУННЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ В СВЕРХРЕШЕТКЕ НА КАРБИДЕ КРЕМНИЯ

Г. Б. Дубровский, А. А. Вольфсон

Теоретические и экспериментальные исследования сверхрешеток вызывают большой интерес, поскольку эти структуры представляют новый класс полупроводников с управляемыми свойствами. Наличие в кристалле дополнительной модуляции основного кристаллического поля с большим периодом a приводит к разрывам квазинепрерывного спектра электронов в точках $\pi a / a$ и образованию узких энергетических подзон (минизон). Теоретические расчеты показывают, что вольт-амперные характеристики таких структур в сильных полях могут иметь резонансные особенности, обусловленные брэгговскими отражениями на границах минизон [1 - 3], а также туннелированием электронов между различными минизонами [4]. Однако, несмотря на большие усилия по созданию и исследованию искусственных сверхрешеток, обнаружить экспериментально эти особенности пока не удалось.

В работе [5] было показано, что различные политипные модификации карбида кремния представляют естественные одномерные сверхрешетки, причем самостабилизация различных структур в процессе роста определяет идеальное воспроизведение определенного сверхпериода через весь кристалл.

Нами выполнены измерения вольт-амперных характеристик в сильных полях на кристаллах SiC различных модификаций. Образцы отбирались по результатам рентгеноструктурного анализа. Концентрации носителей тока определялись из электрических измерений.



Вольт-амперная характеристика кристалла SiC 297R в направлении, параллельном оси с кристалла. В перпендикулярном направлении вольт-амперная характеристика линейна

Измерения проводились при $T = 77^\circ\text{K}$ в импульсном режиме с длительностью импульсов около 1 мксек и частотой следования $1 - 2 \text{ имп/сек}$. Эти условия, а также максимальная амплитуда прикладываемого поля определялись относительно высокой проводимостью образцов. В достаточно сильных полях и при большой длительности импульсов (а также на постоянном токе) в большинстве образцов наблюдался разогрев током с результирующей нелинейностью вольт-амперных характеристик, обусловленной тепловой ионизацией примесей.

Вольт-амперные характеристики образцов модификаций с малыми периодами сверхрешетки (4H, 6H и 15R) были линейными вплоть до полей, соответствующих началу разогрева, как при направлении тока вдоль оси с кристалла (т. е., в направлении сверхрешетки), так и поперек ее. Оценки, основанные на расчетах зонной структуры этих модификаций SiC, показали, что для получения отрицательной дифференциальной проводимости, обусловленной брэгговскими отражениями, в этих структурах необходимы поля, по крайней мере на порядок превышающие те, при которых наступал разогрев. Таким образом, необходимы гораздо более чистые образцы или измерения с более короткими импульсами и при температуре ниже 77°K для наблюдения этого эффекта в перечисленных модификациях SiC. Резонансное туннели-

рование в этих образцах, по-видимому, принципиально невозможно, из-за большой величины энергетического зазора между первой и второй мини-зонами (например, в $6H-SiC$ ΔE составляет около 1 эв [5]).

Для обнаружения резонансных явлений в относительно низких полях нами были предприняты измерения на кристалле SiC модификации $297R$. Если, как у большинства многослойных структур SiC , в основе этой структуры лежит фаза (33) [6], то энергетический спектр электронов в ней для направления вдоль оси c должен быть аналогичным спектру $6H$ [5], но с 33-я дополнительными слабыми разрывами энергии. Образующиеся при этом "микрзоны" разделены очень малыми зазорами, а интервал энергий между точками $k = 0$ и $k = \pi/a$ составляет менее 10^{-2} эв .

Результаты измерений на структуре $297R$ приведены на рисунке. Из этих данных видно, что при направлении тока вдоль оси c наблюдается ярко выраженная нелинейность вольт-амперной характеристики с резким возрастанием тока, хотя какие-либо пики на кривой отсутствуют. В то же время для тока поперек оси c сохраняется чисто омический закон.

Анизотропия вольт-амперной характеристики несомненно является результатом наличия одномерной сверхрешетки в кристалле. Наиболее вероятным механизмом нелинейности в данном случае является резонансное туннелирование электронов [4].

Используя оценку времени поперечной релаксации в SiC $\tau = 10^{-14} \text{ сек}$ [7], получаем для неопределенности энергии величину $\delta E = 0,07 \text{ эв}$, много большую ширины микрзон. Таким образом, в данной структуре отдельные резонансы не могут быть разрешены, чем объясняется отсутствие пиков на вольт-амперной характеристике. При этом рост тока с полем определяется лишь увеличением с энергией плотности состояний в последующих микрзонах.

При гелиевых температурах в такой структуре, по-видимому, возможно получение брэгговских отражений от границ микрзон уже при полях порядка 10^3 в/см .

Авторы благодарны Н.Ф.Картенко за проведение рентгеноструктурного анализа образцов, Г.А.Ломакиной за измерения концентрации, а также Ю.В.Шмарцеву и А.Г.Остроумову за интерес к работе и многочисленные полезные обсуждения.

Физико-технический институт
им. А.Ф.Иоффе
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
28 ноября 1972 г.

Литература

- [1] В.А.Яковлев. ЖЭТФ, 40, 1695, 1961.
- [2] Л.В.Келдыш. ФТТ, 4, 2265, 1962.
- [3] L. Esaki, R. Tsu. IBM J. Res. Dev., 14, 61, 1970.
- [4] Р.Ф.Казаринов, Р.А.Сурис. ФТП, 5, 797, 1971.
- [5] Г.Б.Дубровский. ФТТ, 13, 2505, 1971.
- [6] А.Верма, П.Кришна. "Полиморфизм и политипизм в кристаллах", М., изд. Мир, 1969, стр. 102.
- [7] М.А.Ильин, А.А.Кухарский, В.К.Субашиев. ФТТ, 13, 2478, 1971.