

ОСЦИЛЛЯЦИИ ПОДВИЖНОСТИ ЭЛЕКТРОНОВ В КАНАЛЕ ПОЛЕВОГО GaAs-ТРАНЗИСТОРА

А.О. Орлов, А.К. Савченко, Е.В. Ченский,
Э.А. Ильичев, Э.А. Полторацкий

При $T < 15$ К обнаружены осциллирующие зависимости проводимости канала полевого транзистора от напряжения на затворе Шоттки и от напряжения на подложке. При этом емкость затвор – канал не осциллирует при изменении напряжения на затворе. Делается вывод, что осцилляции связаны с флуктуациями прыжковой проводимости образца малых размеров.

В работе исследовалась проводимость электронного канала, образованного в эпитаксиальном слое GaAs ($N_d \sim 10^{17} \text{ см}^{-3}$) потенциальными стенками: барьер Шоттки – изолирующий слой $\text{Ga}_{0,8}\text{Al}_{0,2}\text{As}$. Структура GaAlAs – GaAs (рис.1) выращивалась на проводящей подложке методом эпитаксии из металл-органических соединений¹. Размеры Al-затвора (длина – 2 мкм, ширина – 200 мкм) определяли размеры канала. Особенностью исследуемой структуры с тонким ($\sim 0,3$ мкм) изолирующим слоем GaAlAs являлась возможность изменения положения канала в слое GaAs и числа электронов в канале путем изменения потенциала затвора и подложки. При малой толщине проводящего канала ($t \lesssim 400 \text{ \AA}$) в области температур 1,5 – 15 К на зависимости $G(V_g)$ и $\frac{dG}{dV_g}(V_g)$ (G – проводимость канала, V_g – напряжение на затворе относительно канала) наблюдались осцилляции, которые затухали при повышении температуры и при увеличении тянущего поля ($E \gtrsim 5 \text{ В/см}$) (рис. 2).

Осцилляции проводимости полевого GaAs-транзистора при изменении напряжения на затворе Шоттки впервые наблюдались в работе², где высказывалось предположение, что их причиной является образование двумерного вигнеровского кристалла в примесной зоне полупроводника. В работе³ было показано, что вигнеровская кристаллизация не может привести к множественным осцилляциям проводимости, и для объяснения эффекта предлагалась модель неравновесной вигнеровской решетки, перестраивающейся при изменении числа электронов путем образования сверхрешеток. Обращалось внимание, что при кристаллизации особенность в проводимости должна сопровождаться также особенностью в емкости затвор – канал⁴.

В настоящей работе показано, что осцилляции проводимости в исследуемой структуре имеют равновесный характер (варьирование скорости развертки V_g в диапазоне $3 \cdot 10^{-2} - 10^2 \text{ мВ/с}$ и изменение направления развертки не оказывали влияния на осцилляции). Наряду с измерением проводимости канала на частотах $f = 10 \text{ Гц} - 100 \text{ кГц}$ измерялась дифференциальная емкость шоттки-слоя $C(V_g)$ ($f = 10 - 100 \text{ кГц}$), на которой не было обнаружено немонотонностей. Таким образом, полученные результаты не согласуются с корреляционной моделью³.

Поскольку проводимость $G = eN\mu/L^2$ (L – длина канала, N – полное число электронов в канале, μ – подвижность электронов), а измеряемая емкость $C = edN/dV_g$, то при осцилляциях числа частиц особенности в $\frac{dG}{dV_g}(V_g)$ и $C(V_g)$ были бы сравнимы по относительной амплитуде, что противоречит эксперименту. Поэтому можно сделать вывод о том, что осцилляции проводимости обусловлены осцилляциями подвижности электронов. Измерение зависимости $C(V_g)$ позволило непосредственно определить число электронов в канале при различном напряжении на затворе: $N(V_g) = -\frac{1}{e} \int_{V_T}^{V_g} C(V_g) dV_g$ (V_T – пороговое напряжение) и

значение эффективной подвижности. Величина μ в исследованных образцах составляла $\sim 500 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ для $V_g = 0$ при $T = 4,2 \text{ К}$ и уменьшалась с уменьшением толщины канала на 2 – 3 порядка по величине.

Осцилляции проводимости были обнаружены не только при изменении напряжения на затворе Шоттки V_g , но и при изменении напряжения на подложке V_s и фиксированном V_g . Ха-

ракторный период осцилляций ΔV_g в несколько раз превышал характерный период ΔV_g в соответствии с меньшим значением емкости подложка – канал. Это позволяет считать, что осцилляции проводимости связаны с изменением числа электронов в канале. Об определяющей роли числа частиц свидетельствует и тот факт, что при повышении температуры положение осцилляций по V_g практически не изменяется (соответствует постоянному числу частиц в канале), хотя проводимость канала возрастает при этом на порядок по величине.

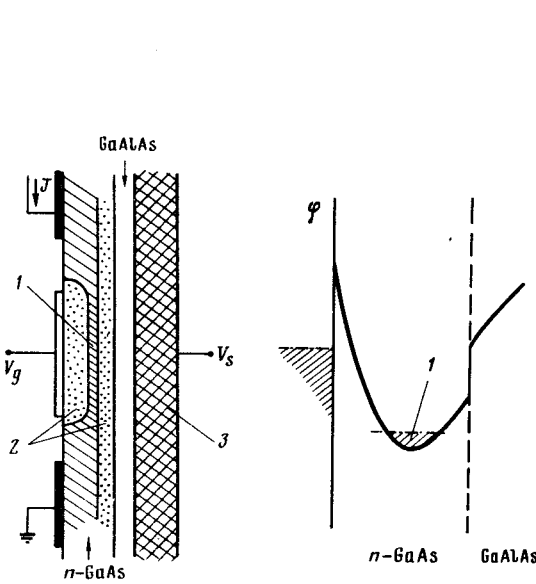


Рис. 1

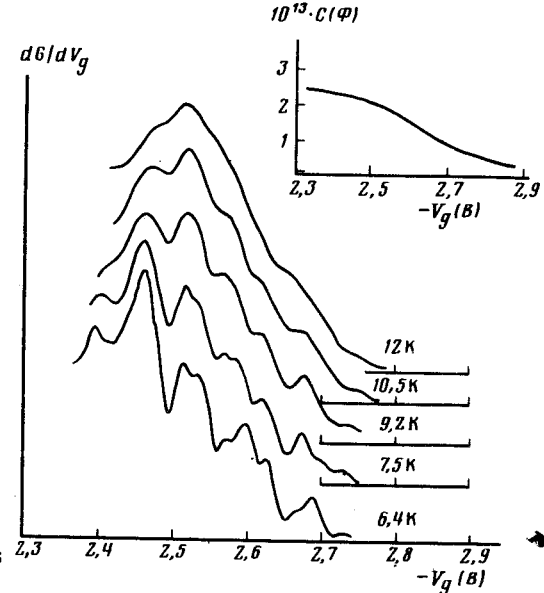


Рис. 2

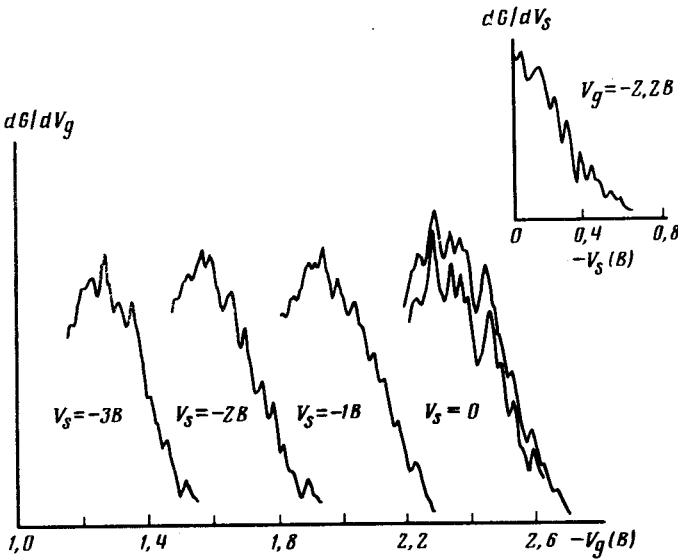


Рис. 3. Осцилляции $dG/dV_g(V_g)$ различных каналов, смещаемых по глубине слоя GaAs (сдвинутая по оси Y кривая для $V_s = 0$ получена в конце цикла измерений). На вставке: осцилляции dG/dV_s от напряжения на подложке V_s

Рис. 1. Схема прибора и его энергетическая диаграмма: 1 – канал, 2 – область пространственного заряда, 3 – подложка; толщина слоя n -GaAs $\sim 3000 \text{ \AA}$

Рис. 2. Зависимости $dG/dV_g(V_g)$ канала при различной температуре (кривые сдвинуты по оси Y). На вставке: зависимость емкости шоттки-слоя от напряжения на затворе

В исследуемой структуре с помощью напряжения на подложке можно было сдвигать положение канала на расстояние $\sim 1000 \text{ \AA}$ по глубине слоя GaAs и изменять таким образом реализацию случайного потенциала и расположение примесей в канале. Для смещенных каналов не наблюдалось существенного различия в характерных амплитуде и периоде осцилляций

$\frac{dG}{dV_g}(V_g)$ (рис. 3). Однако если проследить за отдельной особенностью, то радикальное изменение ее формы и амплитуды происходит при сдвиге канала на $\Delta t \sim 100 \text{ \AA}$.

Температурная зависимость проводимости канала в области T и N , характерных для проявления осцилляций, имеет активационный характер с энергией $\epsilon \simeq 2 \text{ мэВ}$. Таким образом, при уменьшении толщины канала (уменьшении числа электронов N) в системе реализуется переход металл – диэлектрик и проводимость имеет прыжковый характер. Объяснением эффекта осцилляций может поэтому стать модель, рассматривающая флуктуации проводимости при изменении числа частиц в образце малых размеров с прыжковой проводимостью. Возможность таких флуктуаций для одномерной структуры с прыжковой проводимостью с переменной длиной прыжка показана в работе ⁵.

Авторы выражают благодарность Б.А.Альтшулеру, В.А.Волкову, В.Б.Сандомирскому, Б.З.Спиваку и Б.И.Шкловскому за полезные обсуждения, Е.И.Лайко за техническую помощь.

Литература

1. Ильичев Э.А., Маслобоев Ю.П., Полторацкий Э.А., Родионов А.В., Слепнев Ю.В. Письма в ЖТФ, 1983, 10, 420.
2. Pepper M. J. Phys. C., 1979, 12, 617; Poole D.A., Pepper M., Myron N.W. Physica, 1983, 117B – 118B, 679.
3. Ченский Е.В., Ткач Ю.Я., Письма в ЖЭТФ, 1983, 38, 235.
4. Ченский Е.В., Ткач Ю.Я. ЖЭТФ, 1980, 79, 1809.
5. Lee P.A. Phys. Rev. Lett., 1984, 53, 2042.

Институт радиотехники и электроники

Академии наук СССР

Поступила в редакцию

11 марта 1986 г.