

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛЕНГМЮРОВСКИХ МДП СТРУКТУР НА ОСНОВЕ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ

Д.А. Знаменский, Б.Н. Леонович, С.Н. Максимовский,
П.П. Сидоров, П.А. Годуа, В.Н. Уласюк

Исследованы вольт-амперные и вольт-фарадные характеристики структур металл – диэлектрик – арсенид галлия, в которых слой диэлектрика сформирован из стеариновой кислоты по методу Ленгмюра – Блоджетт. Толщина диэлектрика варьировалась в пределах 5 – 20 монослоев. Установлен туннельно-инжекционный характер токопереноса.

В последнее время существенно возрос интерес к изучению структур типа металл – изолирующая пленка Ленгмюра – Блоджетт – полупроводник, связанный с новой возможностью исследования переходных областей в неоднородных структурах, а также с перспективами создания нового поколения полупроводниковых приборов, в которых реализуются туннельные эффекты в сверхтонких моно- и мультислоях /1 – 4/.

В данной работе исследованы структуры металл-диэлектрик-полупроводник на основе арсенида галлия p-типа с удельным сопротивлением $\rho \sim 0,3$ Ом·см. В качестве органического поверхностно-активного вещества для формирования ленгмюровской диэлектрической пленки использована стеариновая кислота $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$, толщина монослоя которой составляет примерно 25 ангстрем /5/, а удельное сопротивление $\rho \cong 10^{11}$ Ом·см /1/. Толщина нанесенной изолирующей пленки составляла 5, 10, 15, 20 монослоев (примерно от 100 до 500 ангстрем). Омический контакт с полупроводниковой подложкой создавался путем вжигания индия непосредственно перед формированием ленгмюровского слоя. Металлический контакт на последний наносился путем испарения серебра в вакууме не хуже 10^{-5} мм рт. ст. со средней скоростью напыления порядка $10 \text{ \AA}/\text{мин}$.

На рис. 1 представлено семейство прямых (положительный потенциал приложен к серебряному электроду) вольт-амперных характеристик полученных структур, снятых при комнатной температуре (сплошные кривые) и температуре жидкого азота (пунктир), цифрами указано количество монослоев. Эти кривые хорошо аппроксимируются зависимостью Ньюмена /6/ $I = I_s \exp(\beta T) \exp(aU)$, где значение β составляет $3 \cdot 10^{-2}$; $0,9 \cdot 10^{-2}$; $1,3 \cdot 10^{-2}$; $1,2 \cdot 10^{-2} \text{ K}^{-1}$ соответственно для 5, 10, 15, 20 монослоев. Значения a , определяющие крутизну вольт-амперных характеристик, для 5 монослоев составляют $9,8 \text{ V}^{-1}$ при 300 К и $13,4 \text{ V}^{-1}$ при 80 К. Для случая 10, 15, 20 монослоев соответствующие значения a составляют 7,0 и 7,7; 6,3 и 7,5; 5,8 и 7,3 V^{-1} . Слабая зависимость крутизны вольт-амперных характеристик от температуры в первую очередь свидетельствует о преимущественно туннельно-инжекционном характере токопереноса. Тенденция характеристик к насыщению в области напряжений порядка одного вольта обусловлена скорее всего вкладом последовательного сопротивления подложки.

Показанные на рис. 2 зависимости прямых значений напряжения от количества монослоев (толщины изолятора) при фиксированных значениях тока можно аппроксимировать выражением $U(I_i) = U_0(I_i) + Ed$, где $U(I_i)$ – приложенное к структуре напряжение; $U_0(I_i)$ – падение напряжения на обедненной области кристалла, полученное путем экстраполяции соответствующей токовой кривой к нулевому значению толщины изолятора; E – среднее значение напряженности электрического поля в изолирующей пленке; d – толщина пленки. По результатам, представленным на рис. 2, можно оценить значения электрического поля, реализуемые в ленгмюровской пленке, составляющие $10^5 - 10^6 \text{ V}/\text{см}$, что согласуется с характерными значениями полей, необходимых для развития процессов туннельного переноса. Исходя из зависимости туннельного тока от толщины изолирующей прослойки $I \cong I' \exp(-bd)$, можно оценить порядок толщины, при которой еще возможно эффективное туннелирование: $\lambda \sim 1/b \sim 100 \text{ \AA}$.

Высокочастотные (1 МГц) вольт-фарадные характеристики исследованных структур имеют характерный для МДП структур ступенчатый вид (рис. 3). Исходя из максимальных значений емкости C_i , диэлектрической проницаемости стеариновой кислоты $\epsilon_i \cong 2,6 / 1$ и площади контакта $S \cong 3 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2$, толщина пленки, определенная как $d \cong \epsilon_i \epsilon_0 S / C_i$, в приведенных трех структурах составляет 180, 250 и 490 ангстрем, что хорошо согласуется с соответствующими толщинами 5, 10 и 20 монослоев стеариновой кислоты (125, 250, 500 ангстрем).

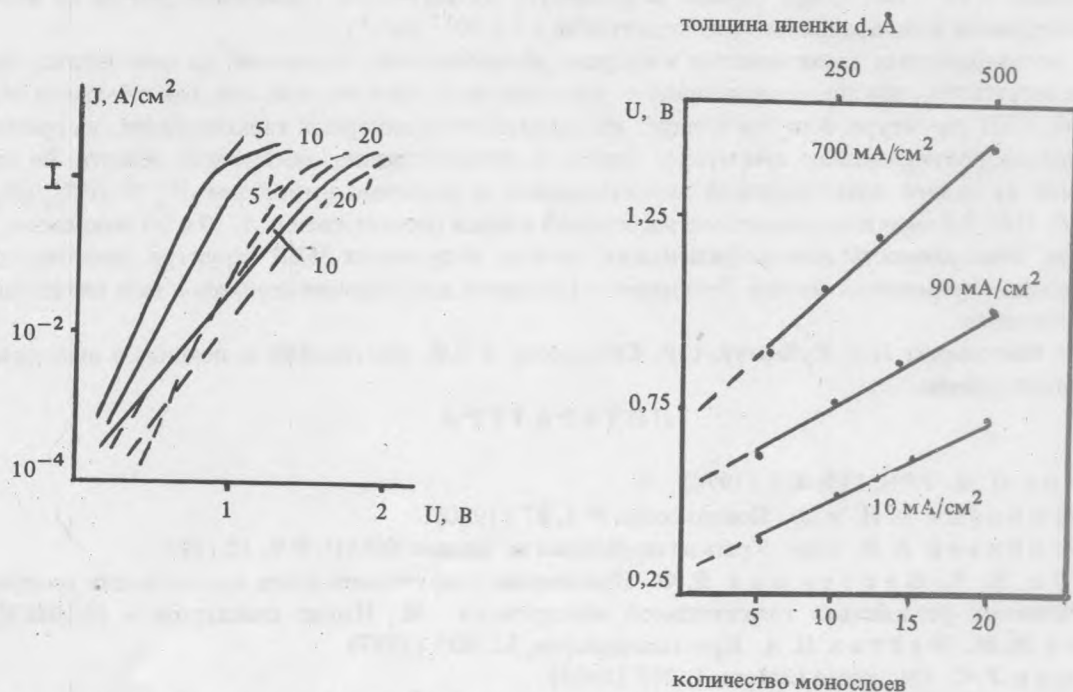


Рис. 1. Семейство прямых ветвей вольт-амперных характеристик, снятых при $T = 300 \text{ К}$ (сплошные кривые) и $T = 80 \text{ К}$ (пунктир). Цифрами указано число монослоев.

Рис. 2. Зависимость приложенного прямого смещения от количества монослоев стеариновой кислоты при фиксированных значениях тока; $T = 300 \text{ К}$.

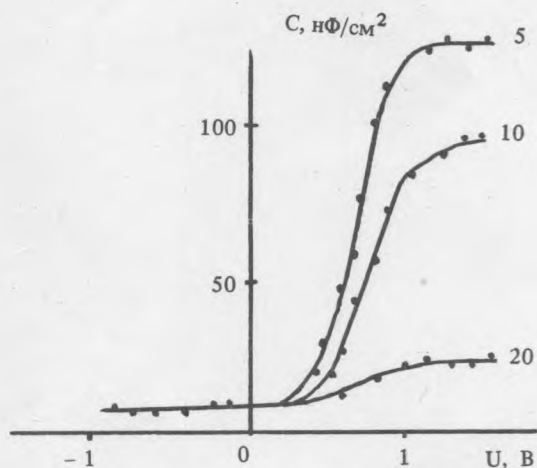


Рис. 3. Вольт-фарадные характеристики структур с 5, 10 и 20 монослоями стеариновой кислоты. Цифрами указано число монослоев; $T = 300 \text{ К}$.

В области отрицательных смещений во всех трех случаях (рис. 3) именно емкость обедненного слоя полупроводника определяет результирующую емкость. Исходя из полученного значения минимальной емкости C_s и диэлектрической проницаемости арсенида галлия $\epsilon_s \cong 12/7$, оценка максимальной глубины области обеднения W_m дает значение $1,1 \pm 0,2$ мкм. Пользуясь этим значением W_m и выражением $W_m = (4\epsilon_s kT \ln(N_d/n_i)/q^2 N_d)^{1/2}$, где q — заряд электрона, n_i — собственная концентрация носителей ($n_i \cong 1,4 \cdot 10^7$ см⁻³ при $T = 300$ К), можно оценить концентрацию ионизированных доноров, которая составляет около $5 \cdot 10^{15}$ см⁻³, что хорошо коррелирует со значением, оцененным исходя из измерений электропроводности использованного арсенида галлия ($\sim 3 \cdot 10^{15}$ см⁻³).

Сдвиг вольт-фарадных характеристик в сторону положительных смещений, на наш взгляд, связан с тем, что в отсутствие внешнего напряжения не наступает состояния плоских зон, как это имело бы место в идеальной МДП структуре. Как это следует из анализа вольт-амперных характеристик, на границе раздела диэлектрик-полупроводник существует барьер и, соответственно, обедненная область. Ее глубина, определяемая из сдвига вольт-фарадной характеристики с помощью выражения $W_0 \cong \Delta UC_i/qN_d S$, составляет 0,8; 0,6; 0,4 мкм для толщин ленгмюровской пленки соответственно 5, 10 и 20 монослоев.

Высокая повторяемость электрофизических свойств полученных МДП структур свидетельствует о целесообразности применения метода Ленгмюра — Блоджетт для создания переходов типа металл-диэлектрик-полупроводник.

Авторы благодарны И.В. Кубареву, С.И. Скворцову и Е.Ф. Шестаковой за помощь в выполнении отдельных этапов работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блинов Л. М. УФН, 155, 433 (1974).
2. Георгобидани А. Н. и др. Поверхность, № 1, 87 (1990).
3. Георгобидани А. Н. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 9, 42 (1987).
4. Годуа П. А., Шестакова Е. Ф. Применение сверхтонких слоев органических материалов в перспективных устройствах твердотельной электроники. М., Изд-во стандартов — ВНИИКИ, 1989.
5. Львов Ю. М., Фейгин Л. А. Кристаллография, 32, 805 (1987).
6. New man P. C. Electronic Letters, 1, 265 (1965).
7. Панков П. С. Оптические процессы в полупроводниках. М., Мир, 1973.
8. Зи С. Физика полупроводниковых приборов, М., Мир, 1984, т.1.

Поступила в редакцию 23 апреля 1990 г.