

ЭЛЕКТРОНИКА

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТА ЭЛЕКТРОНОВ В КВАЗИБАЛЛИСТИЧЕСКОМ ПОЛЕВОМ ТРАНЗИСТОРЕ С КВАНТОВЫМИ ОТВЕРСТИЯМИ

Е.В.Киселева, С.В.Оболенский

Нижегородский госуниверситет

Исследованы особенности образования транспорта электронов через квантовые отверстия в канале n^+pn -GaAs полевого транзистора с затвором Шоттки с учетом баллистического движения, междолинных переходов.

В качестве объекта исследования выбран полевой транзистор со специальной V-образной формой Au затвора Шоттки, который формировался благодаря напылению металлизации в канавку, полученную анизотропным травлением GaAs. Толщина проводящего слоя эпитаксиальной полупроводниковой структуры под острием затвора выбиралась равной 20-40 нм, при этом концентрация легирующей примеси в канале была на порядок меньше, чем в областях под истоком и стоком транзистора, но на два порядка больше, чем в слое n -GaAs.

Известно, что размер области пространственного заряда кластера радиационных дефектов (КРД), возникающего при нейтронном облучении, обратно пропорционален концентрации легирующей примеси. Поэтому, несмотря на случайный характер возникновения КРД, размер области его пространственного заряда автоматически согласуется с местом расположения в структуре транзистора так, что на границе "канал-подложка" возникает потенциальный барьер, улучшающий работу прибора, а паразитное сопротивление приконтактных областей истока и стока практически не изменяет своего значения. Важно, что в канале транзистора, под острием V-образного затвора, ядра радиационных кластеров имеют меньшие размеры, поскольку создаются атомами золота, выбиваемыми нейтронами из затвора. В других областях транзистора кластеры создаются атомами Ga и As, и имеют более протяженные размеры, т.к. эти атомы значительно легче золота, т.е. приобретают в среднем большую энергию от налетающего нейтрона и имеют большую длину пробега, чем атомы золота.

Ток протекает в нанометровых зазорах между кластерами, находящимися в канале транзистора, а взаимодействие областей пространственного заряда затвора и кластеров дефектов приводит к эффекту охвата проводящей части канала управляющим электрическим полем со всех сторон, что увеличивает крутизну транзистора. В отверстиях малого диаметра происходит квантование разрешенных энергетических уровней, что обуславливает прохождение электронов с энергией больше

основного уровня и отражение низкоэнергетических носителей заряда. Благодаря квантовым эффектам крутизна транзистора может увеличиться более чем на порядок. Междолинные переходы электронов приводят к изменению массы электрона в несколько раз, поэтому изменяется его длина волны. Последнее обуславливает механизм селекции электронов различных долин отверстиями малого размера, т.е. электроны Х-долины пропускаются отверстиями, а электроны Г-долины отражаются. Это приводит к возникновению на выходной вольт-амперной характеристике ступенек переключения из состояния “открыто” в состояние “закрыто”.

Экспериментально наблюдалось восьмикратное увеличение крутизны при нейтронном облучении транзисторов с флюенсом $6 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$. Переключение наблюдалось при тех же флюенсах, напряжении на стоке 1,5–2,5В и напряжении на затворе $0 \div -1\text{В}$.

Работа выполнена при частичной поддержке грантов НАТО SfP-973799 Semiconductors и МНТП “Физика твердотельных наноструктур” (№ 99-1142).

ПОВЕРХНОСТНЫЕ АКУСТИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ В МНОГОСЛОЙНЫХ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ

М.Ю.Двошерстов, В.И.Чередник

Нижегородский госуниверситет

Параметры поверхностных акустических волн (ПАВ), распространяющихся в многослойной структуре, определяются как свойствами пьезокристаллической подложки, так и свойствами каждого слоя в отдельности. Анализ свойств таких волн возможен только численным путем. Поиск решений вида ПАВ в многослойных структурах может быть осуществлен по той же методике, как и для однослойной системы [1], однако, из-за наличия множества границ между слоями увеличивается количество граничных условий. При этом порядок определителя граничных условий [1] увеличивается пропорционально количеству слоев.

Существенным недостатком при распространении ПАВ в однослойной системе является дисперсия акустической волны. При наличии слоя скорость ПАВ зависит от частоты в отличие от волны, распространяющейся на свободной поверхности кристалла. Используя многослойные структуры, можно попытаться убрать этот недостаток. Объясним это на примере двух пленок. Если в отдельности один слой увеличивает, а другой слой уменьшает скорость акустической волны, то при нанесении на поверхность кристалла сразу двух таких слоев при определенных их толщинах можно свести дисперсию скорости волны практически до нуля.

На рис.1 показаны рассчитанные скорости ПАВ в пьезокристалле лангасита LGS ориентации $(0^0, 140^0, 24^0)$ при наличии на его поверхности пленки плавленого кварца (кривая SiO_2), либо пленки никеля (кривая Ni) в зависимости от относительной толщины пленки h/λ . Из рисунка видно, что пленка Ni уменьшает, а пленка SiO_2 наоборот, увеличивают результирующую скорость ПАВ.

Рассмотрим подробнее механизм оценки дисперсионных искажений в слоистых многослойных структурах. При наличии одного слоя на поверхности пьезок-

ристалла, результирующая скорость акустической волны меняется по сравнению с открытой поверхностью. В большинстве случаев при малых толщинах пленок ($h/\lambda < 0,1$) зависимость результирующей скорости волны прямо пропорциональна величине h/λ . Поэтому в первом приближении можно ввести коэффициент γ , характеризующий дисперсионные свойства слоистой системы. При этом относительное изменение скорости волны можно записать:

$$\frac{(V_0 - V(h))}{V_0} = \gamma \cdot \frac{h}{\lambda} = \frac{\gamma}{V_0} \cdot \varpi.$$

Здесь V_0 – фазовая скорость волны в отсутствии слоя, $V(h)$ – скорость волны в присутствии слоя, h – толщина слоя, λ – длина волны.

Значения коэффициента γ можно получить расчетным путем для каждого материала слоя и подложки и каждого параметра h/λ . При наличии множества слоев, если выполнится условие:

$$\sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot h_i = 0,$$

где n – полное число слоев, то можно говорить об условии отсутствия дисперсии скорости в многослойной структуре.

На рис.2 показаны рассчитанные значения $(\gamma_1 \cdot h_1 + \gamma_2 \cdot h_2)$ в случае лангасита LGS ($0^0, 140^0, 24^0$) при наличии на его поверхности пленок SiO₂ и Ni. Из рисунка видно, что имеется целое семейство сочетаний двух данных пленок, при которых будет отсутствовать дисперсия ПАВ. Например, если толщина первой пленки равна $h_1 = 0,015\lambda$, то дисперсия отсутствует при толщине второй пленки $h_2 = 0,02\lambda$ (кривая $h_2/L = 0,02$), при толщине первой пленки $h_1 = 0,04\lambda$ значение $(\gamma_1 \cdot h_1 + \gamma_2 \cdot h_2)$ равно нулю при $h_2 = 0,05\lambda$ (кривая $h_2/L = 0,02$) и т.д.

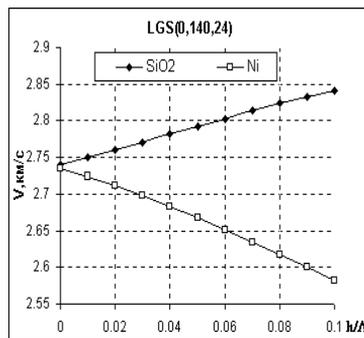


Рис.1

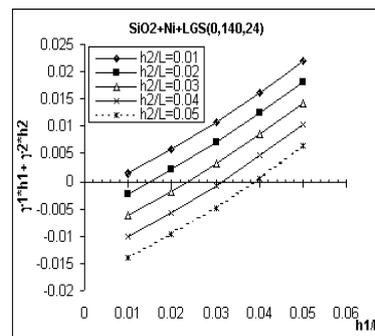


Рис.2

Для сравнения в таблице приведены расчётные значения основных параметров ПАВ в слоистой структуре. Фазовая скорость V , температурный коэффициент задержки tcd , потери вдоль направления распространения в случае псевдоповерхностной акустической волны в системах: ($\text{SiO}_2+\text{Ni}+\text{LGS}$) и ($\text{Al}+\text{Cr}+\text{LiTaO}_3$).

ПАВ	V , км/с	ВПАВ	V_s , км/с	Потери, дБ/ λ
LGS(0,140,23)	2,7345	LiTaO ₃ (0, -48,0)	4,11485	0,012
Ni ($h_1/L=0,04$)+LGS	2,6844	Cr($h_1/L=0,02$)	4,1299	0,0321
SiO ₂ ($h_2/L=0,05$)+LGS	2,7908	Al($h_2/L=0,02$)	4,0993	0,01
SiO ₂ +Al+LGS	2,7305	Al+Cr+LiTaO ₃	4,1162	0,0328

Таким образом, проведенный численный эксперимент позволяет заранее выбирать пары материалов слоев, при которых исчезают дисперсионные свойства акустической волны.

- [1] Балакирев М. К., Гишинский И. А. Волны в пьезокристаллах. –М.: Наука, 1982, 240с.

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН

М.Ю.Двоешерстов, А.П.Чириманов, В.И.Чередник

Нижегородский госуниверситет.

Одной из важных характеристик электроакустических поверхностных волн (ЭАПВ), распространяющихся в пьезокристаллических средах, является их чувствительность к изменению внешней температуры, которая, в свою очередь, зависит от температурных свойств анизотропного пьезокристалла в том или ином направлении. В данной работе предложены различные методики и экспериментальные стенды для измерения температурных характеристик ЭАПВ в широком интервале температур t . Проведены измерения температурного коэффициента частоты (TCF), задержки (TCD) и относительные изменения частоты ($\Delta F/F$) ЭАПВ, распространяющихся в пьезокристаллах ниобата лития YZ-среза LiNbO₃, танталата лития YX-среза LiTaO₃ и пьезокварца ST,X-среза SiO₂. Экспериментальные характеристики сравнивались с расчетными, и показали хорошее соответствие теории и эксперимента. В работе рассмотрены несколько методик измерения TCF, $\Delta F/F$.

1. Измерение частоты сдвига амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) фильтра на ЭАПВ при изменении температуры

При помощи измерителя амплитудно-частотных характеристик Х1-48 исследовалась АЧХ фильтра на ПАВ на танталате лития YX –среза. Центральная частота фильтра была 98МГц. Ширина полосы АЧХ – 10 МГц. При этом фильтр был помещен в термостат U10, который автоматически устанавливал нужную рабочую тем-

пературу ($20^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$). При изменении рабочей температуры АЧХ фильтра будет смещаться в ту или другую сторону по частоте, а метка от внешнего генератора Г5-54 останется на том же старом месте. После установки метки опять “на то же место” общей АЧХ можно определить уход центральной частоты АЧХ фильтра при помощи частотомера ЧЗ-64, а значит определить ТCF фильтра на ПАВ в широком интервале рабочих температур. На рис.1 показаны измеренные и теоретически вычисленные значения $tcd = -TCF$ ПАВ в YX-срезе танталата лития в интервале температур от $+25^{\circ}\text{C}$ до $+100^{\circ}\text{C}$. Некоторый разброс экспериментально измеренных характеристик объясняется не точностью установки внешней метки на “то же место” на экране X1-48 при температурном сдвиге АЧХ.

2. Измерение фазы сигнала при изменении температуры

Фазовый метод измерения ТCF заключается в определении фазы сигнала при изменении рабочей температуры, используя при этом измеритель разности фаз ФК-2-12. Сигнал от внешнего генератора Г4-107 подается на вход “А” прибора ФК-2-12, а на вход “В” подается сигнал с того же генератора, но прошедший через исследуемую линию задержки на ПАВ, изготовленной из пластины ниобата лития YZ-среза. Несущая частота устройства равнялась 100 МГц. При этом прибор ФК-2-12 измеряет разность фаз между опорным сигналом (вход “А”) и сигналом, прошедшим через линию задержки (вход “В”). Предельная точность измерения фазы определяется прибором ФК-2-12 (не превышает 3 град).

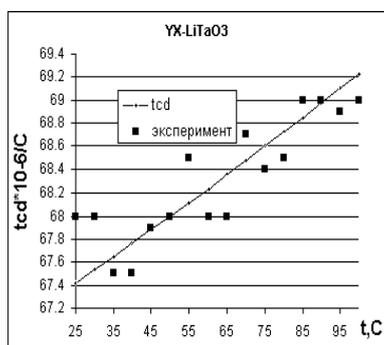


Рис.1.

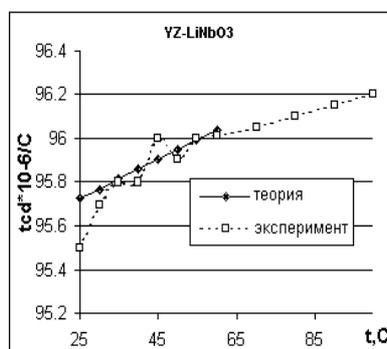


Рис.2.

На рис.2. показаны измеренные и теоретически вычисленные значения tcd ПАВ в YZ-срезе ниобата лития.

3. Измерение рабочей частоты генератора на ЭАПВ

Самый надежный и точный метод измерения ТCF основывается на прямом измерении рабочей частоты генератора на ПАВ при различных рабочих температу-

рах. Экспериментальные измерения TCF проводились для генератора на ПАВ, в качестве акустопровода в котором использовался ST,X-срез SiO₂. Резонансная частота исследуемого генератора на ПАВ при комнатной температуре равнялась: 448,265МГц. Генератор был помещен в термостат, который автоматически устанавливал нужную рабочую температуру. При изменении температуры происходит смещение частоты генератора. При помощи прецизионного частотомера ЧЗ-64 можно измерить частоту ухода генератора в зависимости от температуры и вычислить TCF⁽¹⁾ в области комнатной температуры t₀=25⁰С по формуле [1]:

$$TCF_{t=25} = 1/F \cdot \partial F / \partial t \approx 1/F_{t=25} \times (F_{t=18} - F_{t=27}) / (18^0C - 27^0C)$$

При этом точность измерений будет определяться точностью измерения частоты и температуры.

В работе проведен сравнительный анализ различных методик измерения. Оценены точности измерений при той или иной методике измерений.

[1] Поверхностные акустические волны /Под ред. А.Олинера. –М.: Мир, 1981.