

## ФОТОИНДУКТИВНЫЙ ЭФФЕКТ В ПТДП СТРУКТУРЕ

В. А. Манассон

В [1] было обнаружено, что в МТДП структуре, имеющей специальную конфигурацию металлического электрода, отклик на внешнее переменное напряжение может носить индуктивный характер. Там же предполагалось, что индуктивный эффект связан с реализацией усиления дырочного тока в областях, прилегающих к углам металлического электрода, по механизму, описанному в [2] и связанному с асимметрией протекания электронного и дырочного токов через тонкий диэлектрик.

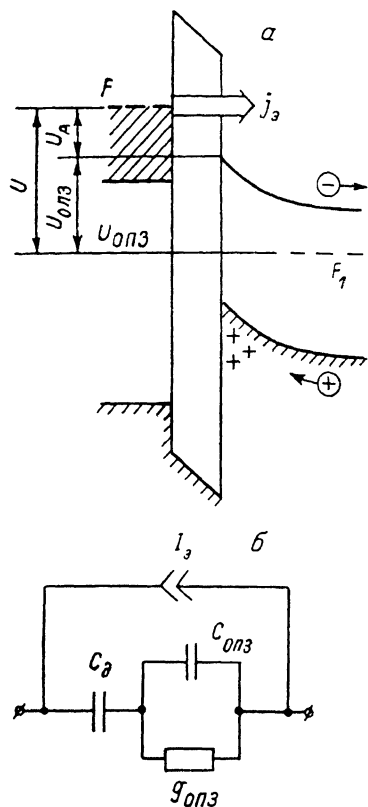
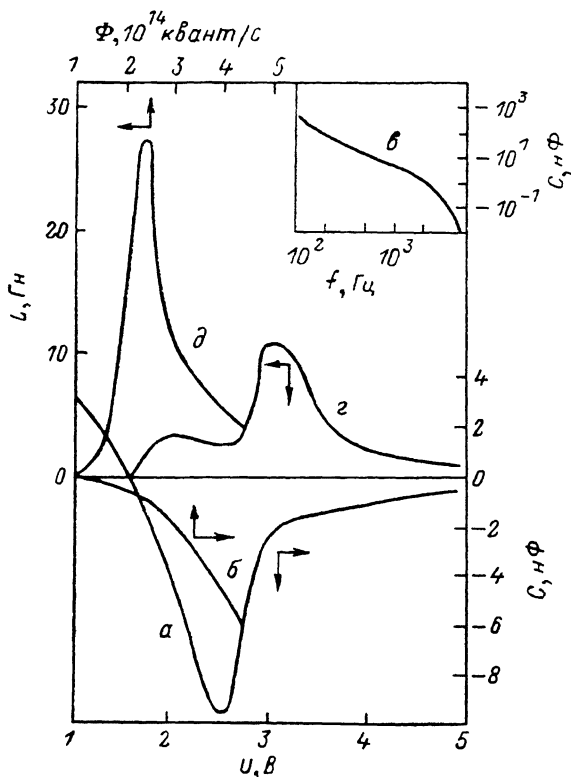


Рис. 1. Зависимости емкости  $C$  (а—в) и индуктивности  $L$  (z, d) от постоянного напряжения  $U$ , освещенности  $\Phi$  и частоты  $f$ .

Кривые а, б, z, d измерены на частоте  $10^8$  Гц; б, d, e — при напряжении  $U=2.75$  В; а, z, e — при освещении потоком  $\Phi=5 \cdot 10^{14}$  квант/с.

Рис. 2. Зонная диаграмма (а) и эквивалентная схема (б) гетероструктуры.

В [3, 4] были описаны ПТДП структуры типа  $\text{In}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2\text{—Si}$ , в которых усиление тока фотогенерированных дырок связывалось с блокированием дырочного тока через диэлектрик запрещенной зоной  $\text{In}_2\text{O}_3$ . В настоящей работе проведены исследования адмиттанса таких структур при освещении и предложена модель, описывающая наблюдаемые эффекты.

На рис. 1 представлены зависимости емкости  $C$  гетероструктуры  $\text{In}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2\text{—Si}$  от постоянного смещения  $U$ , уровня освещенности  $\Phi$ , частоты  $f$ , измеренные при помощи токового моста переменного тока. Переменное напряжение на образце  $\tilde{U}$  не превышало 30 мВ. Освещение производилось красным светодиодом. Из рисунка видно, что существует достаточно широкая область напряжений и частот, где емкость принимает отрицательные значения, т. е. структура обладает индуктивным откликом. Эквивалентная индуктивность  $L$  определялась по измеренным значениям  $C$  и  $G$  с использованием формулы

$$L = \frac{\operatorname{Im} Z}{\omega} = \frac{\operatorname{Im}(Y^{-1})}{\omega} = \frac{-C}{G^2 + \omega^2 C^2},$$

где  $Z$  — импеданс структуры.

Расчитанные значения индуктивности представлены на рис. 1 кривыми  $\epsilon$  и  $\delta$ . Видно, что зависимости  $L$  от  $U$  и от  $\Phi$  нелинейны и немонотонны. Величина  $L$  достигает значений, превышающих 10 Гн, что делает структуру перспективной для использования в качестве управляемой светом индуктивности.

Для выяснения причин, вызывающих индуктивный отклик, обратимся к зонной диаграмме гетероструктуры, показанной на рис. 2, а. Структура освещена. На нее подано запертое напряжение  $U$ . Слева расположен широкозонный полупроводник  $\text{In}_2\text{O}_3$  с сильновырожденным газом свободных электронов. Справа кремний электронного типа проводимости, в котором поверхностный изгиб зон соответствует частичному обеднению поверхности основными носителями. Через тонкий диэлектрик  $\text{SiO}_2$  может протекать достаточно большой поток электронов  $j_s$ . Благодаря блокированию дырочных переходов из кремния в  $\text{In}_2\text{O}_3$  запрещенной зоной последнего фотогенерированные дырки накапливаются у границы кремний—оксид. Накопление положительного заряда приводит к понижению потенциала границы, в результате чего происходит перераспределение приложенного к структуре напряжения между диэлектриком и ОПЗ полупроводника. Напряжение на первом возрастает, как следствие, возрастает поток инжектированных из  $\text{In}_2\text{O}_3$  электронов. Электронная составляющая сквозного тока  $I_s$  через структуру, связанная с потоком  $j_s$ , в структурах с усилением фототока значительно превышает сумму всех остальных составляющих сквозного тока  $I$ , т. е.  $I \approx I_s$ .

Если к структуре дополнительно приложить небольшое переменное напряжение  $\tilde{U}$ , то оно также распределится между диэлектриком ( $\tilde{U}_\chi$ ) и полупроводником ( $\tilde{U}_{\text{ОПЗ}}$ ). Переменная составляющая электронного тока  $I_s$  будет пропорциональна  $\tilde{U}_\chi$  и будет совпадать с ним по фазе, т. е.

$$I_s = g \tilde{U}_\chi, \quad (1)$$

где  $g$  — коэффициент пропорциональности, имеющий размерность проводимости.

Эта величина не является полной активной проводимостью диэлектрика, так как не описывает дырочные токи. В дальнейшем для упрощения анализа мы будем пренебрегать дырочными токами через диэлектрик, а также падением напряжения на квазинейтральных частях структуры.

Упрощенная эквивалентная схема структуры для малого переменного сигнала представлена на рис. 2, б. Здесь  $C_\chi$  — емкость диэлектрика, определяющая его реактивную проводимость;  $C_{\text{ОПЗ}}$  и  $g_{\text{ОПЗ}}$  — емкость и активная проводимость ОПЗ полупроводника. Нетрудно показать, что для приведенной эквивалентной схемы с учетом (1) адмитанс структуры

$$Y = G + i\omega C,$$

где

$$G = \frac{g g_{\text{ОПЗ}}^2 + g \omega^2 C_{\text{ОПЗ}}^2 + g \omega^2 C_{\text{ОПЗ}} C_\chi + g_{\text{ОПЗ}} \omega^2 C_\chi^2}{g_{\text{ОПЗ}}^2 + \omega^2 (C_\chi + C_{\text{ОПЗ}})^2},$$

$$C = C_\chi \frac{g_{\text{ОПЗ}}^2 + \omega^2 C_{\text{ОПЗ}}^2 + \omega^2 C_{\text{ОПЗ}} C_\chi - g g_{\text{ОПЗ}}}{g_{\text{ОПЗ}}^2 + \omega^2 (C_\chi + C_{\text{ОПЗ}})^2}. \quad (2)$$

Из выражений (2) видно, что емкость структуры  $C$  может принимать отрицательные значения, т. е. характер отклика на внешнее переменное напряжение будет индуктивным. Это происходит при выполнении неравенства

$$g > g_{\text{ОПЗ}} + \omega (C_\chi + C_{\text{ОПЗ}}) \frac{\omega C_{\text{ОПЗ}}}{g_{\text{ОПЗ}}}. \quad (3)$$

Реализация неравенства (3) более вероятна в структурах с большим коэффициентом усиления фототока, когда  $g \gg g_{\text{ОПЗ}}$ , а также на низких частотах, когда  $g_{\text{ОПЗ}} > \omega C_{\text{ОПЗ}}$  и  $g > \omega (C_\chi + C_{\text{ОПЗ}})$ .

Физическая картина возникновения индуктивного эффекта заключается в том, что проводимость  $g_{\text{ОПЗ}}$  и емкость  $C_\chi$  составляют интегрирующую цепь, в которой напряжение на диэлектрике  $\tilde{U}_\chi$  отстает по фазе от приложенного к структуре напряжения  $\tilde{U}$ , а сквозной ток через структуру  $I$  по величине и фазе близок к току  $I_s$ , который совпадает по фазе с  $\tilde{U}_\chi$ . Таким образом, сквозной ток через структуру  $I$  отстает по фазе от приложенного напряжения  $\tilde{U}$ , что и является характерным для индуктивности.

- [1] Добровольский В. Н., Жубаев С. Т., Ишидзе Г. К., Федосеев Н. П. // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12. Вып. 1. С. 55—59.  
 [2] Green M. A., Shewchun J. // Sol. St. Electron. 1974. Vol. 17. P. 349—365.  
 [3] Манассон В. А., Баранюк В. Б., Товстюк К. Д. // ФТН. 1987. Т. 21. Вып. 6. С. 1047—1050.  
 [4] Манассон В. А., Баранюк В. Б., Товстюк К. Д. // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. Вып. 13. С. 763—771.

Институт проблем материаловедения АН УРСР  
Черновицкое отделение

Поступило в Редакцию  
13 апреля 1989 г.

06

Журнал технической физики, т. 60, в. 4, 1990

© 1990 г.

## ДИНАМИЧЕСКАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ ДОМЕННЫХ ГРАНИЦ В ФЕРРИТ-ГРАНАТОВЫХ ПЛЕНКАХ

А. Н. Ануфриев

Исследованию кооперативных колебаний доменных границ (ДГ) в магнитных пленках посвящено большое количество работ [1-7]. В основном это работы, описывающие резонансные явления в доменной структуре [1-3] или релаксацию доменных границ в переменных [4-5] и импульсных [6] магнитных полях. Исследования в этой области позволяют оптимизировать режимы работы магнитооптических модуляторов и дефлекторов, основанных на использовании кооперативных колебаний ДГ.

№ образца	h, мкм	ω, мкм	α	H <sub>0</sub> , кА/м	H <sub>s</sub> , кА/м
1	6.6	19	0.035	1.8	1.9
2	6.8	17	0.035	1.6	1.7
3	7.0	19	0.035	1.7	1.8
4	6.6	20	0.030	1.6	1.8
5	5.8	7.5	0.035	4.8	5.1

Примечание. h — толщина пленки, ω — полупериод доменной структуры, α — коэффициент затухания, H<sub>0</sub> — поле коллапса, H<sub>s</sub> — поле насыщения пленки.

Работ, посвященных исследованию самоорганизации ДГ в условиях внешней накачки, процессам динамической стабилизации ДГ и образования устойчивых динамических структур, значительно меньше, хотя эти явления могут играть существенную роль в динамике перематничивания феррит-гранатовых пленок.

В работе [7] описывается возникновение устойчивых динамических конфигураций ДГ в виде спиралей, имеющих различное количество витков и различные направления закручивания. Динамическая стабилизация ДГ, возникновение устойчивых динамических конфигураций ДГ в указанной работе наблюдались при воздействии на пленку синусоидальным магнитным полем с частотой 150 Гц — 18 кГц. Эффект проявлялся при амплитудах магнитного поля накачки, составляющих 0.75—0.95 поля насыщения пленки. Время жизни спиралей достигало десятков секунд.

Данная работа посвящена исследованию обнаруженного нами эффекта динамической стабилизации ДГ в импульсном магнитном поле в присутствии постоянного поля смещения, противоположного по направлению импульсному полю накачки.

Исследовались феррит-гранатовые пленки состава (BiTm)<sub>3</sub>, (FeGa)<sub>5</sub>O<sub>12</sub>, выращенные на подложках из галлий-гадолиниевого граната (ГГГ) с ориентацией (111). Параметры образцов приведены в таблице.

Образец 4 представлял собой часть образца 1, имплантированную ионами аргона с энергией 50 кэВ и дозой 6·10<sup>15</sup> см<sup>-2</sup>. Наблюдения доменной структуры проводились с помощью