

06

Управление динамикой переключения в структуре Si—SiO₂—VO₂

© А.А. Величко, Н.А. Кулдин, Г.Б. Стефанович, А.Л. Пергамент

Петрозаводский государственный университет
E-mail: velichko@mainpgu.karelia.ru

Поступило в Редакцию 8 января 2003 г.

Исследовались динамические вольт-амперные характеристики структуры Si—SiO₂—VO₂, обладающей эффектом переключения. Показано, что управление динамикой переключения можно осуществлять как подачей напряжения смещения на Si-подложку, так и освещением, что объясняется изменением емкости области пространственного заряда. На основе данных эффектов рассматривается возможность создания новых полупроводниковых приборов.

Исследования фазового перехода металл-изолятор (ПМИ) в двуокиси ванадия, имеющие как фундаментальный, так и прикладной характер, продолжают привлекать внимание исследователей [1,2]. Известно, что практически во всех оксидах переходных металлов с ПМИ наблюдается эффект переключения. Механизм переключения обычно трактуется в рамках модели критической температуры, в которой, вследствие джоулева разогрева материала протекающим током, достигается температура перехода в металлическую фазу T_i (для VO₂ $T_i = 68^\circ\text{C}$), что сопровождается скачком проводимости и формированием на вольт-амперной характеристике (ВАХ) участка с отрицательным дифференциальным сопротивлением (ОДСП) S-типа [1]. Однако, как было показано нами, на температуру ПМИ, а следовательно и на эффект переключения, можно влиять электрическим полем [3], а также инъекцией заряда [4]. Все эти разработки можно с успехом использовать для управления эффектом переключения, однако потребность в новых методах управления остается актуальной.

В данной работе представлены результаты исследования способов управления динамикой переключения в структуре Si—SiO₂—VO₂ [5,6], основанной на изменении емкости области пространственного заряда (ОПЗ).

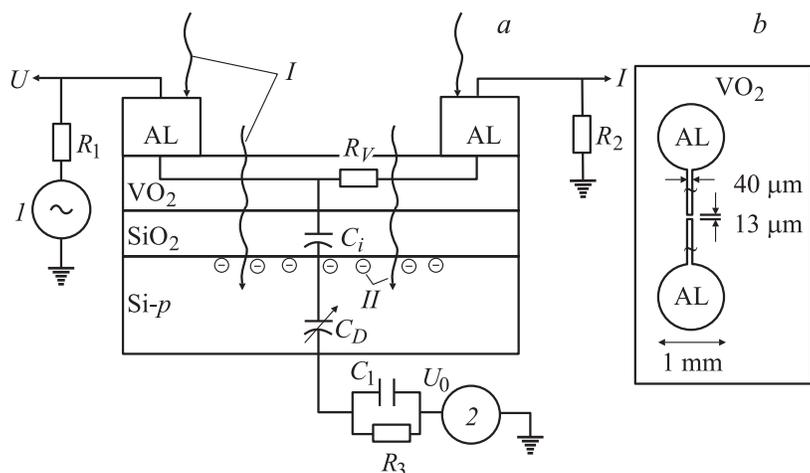


Рис. 1. Схема включения Si-SiO₂-VO₂ структуры (а): I — постоянный источник, 2 — генератор ($R_1 = 100 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 10 \Omega$, $R_3 = 560 \text{ k}\Omega$, $C_1 = 0.022 \mu\text{F}$, C_i — емкость диэлектрика, C_D — емкость ОПЗ, R_V — сопротивление пленки VO₂), I — фотоны, II — фотоэлектроны; вид контактов (б).

Пленка диоксида ванадия ($\sim 3000 \text{ \AA}$) осаждалась на Si-SiO₂ (Si- p -типа, $\rho = 1 \Omega \cdot \text{cm}$; SiO₂ $\sim 1000 \text{ \AA}$) подложку методом реактивного магнетронного распыления в атмосфере Ar + O₂, при температуре подложки порядка 500°C, с последующим отжигом в течение 30 min. Сверху методом термического напыления наносились алюминиевые контакты. Конструкция исследуемой структуры, ее размеры и схема измерений электрических характеристик представлены на рис. 1. Вольт-амперная характеристика структуры исследовалась на переменном сигнале в режиме генератора тока (большое сопротивление R_1), схема измерения которой показана на рис. 1, а. Переменный сигнал поступал с генератора 1, напряжение смещения на Si-подложку подавалось с источника постоянного напряжения 2. Следует отметить, что во всех экспериментах по исследованию изменения динамических ВАХ под действием напряжения смещения и освещения амплитуда сигнала, поступающего с генератора 1, была фиксирована $U_{\sim} \sim 15 \text{ V}$. Для исследования влияния освещения на ВАХ использовалась лампа накаливания.

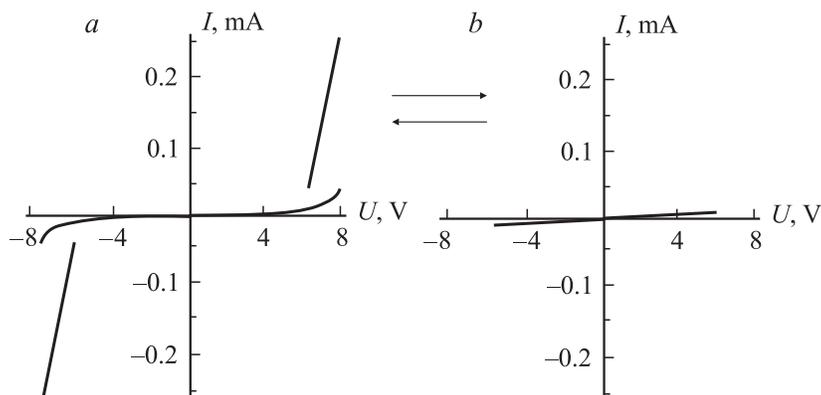


Рис. 2. Динамическая ВАХ Si-SiO₂-VO₂ структуры с переключением (a) и без переключения (b).

Исследуемая структура характеризуется ВАХ переключающего типа (рис. 2, a). При наблюдении динамической ВАХ на низкочастотном сигнале (~ 100 Hz), освещение структуры и (или) смещение Si-подложки (по крайней мере, в диапазоне U_0 от -30 до 30 V) не влияло на вид ВАХ. Однако при переходе в более высокочастотную область можно было обратимо переводить структуру в состояние без переключения при помощи подачи соответствующего напряжения смещения на подложку. Так, на частоте 6 kHz при $U_0 < -12.2$ V наблюдался переход к динамической ВАХ, показанной на рис. 2, b. В этом случае переключение отсутствует. При положительном смещении подложки вырождение переключения наблюдалось при $U_0 > 4.6$ V.

Далее было обнаружено влияние освещения на динамику переключения. При $U_0 \geq 0$ освещение не влияло на работу переключателя. Однако при отрицательном смещении подложки уже слабое освещение приводило к исчезновению переключения на динамической ВАХ. Так, на частоте 6 kHz при $U_0 = -8$ V и освещенности $5 \cdot 10^{-4} \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ переключение исчезало и динамическая ВАХ имела вид, показанный на рис. 2, b.

Таким образом, мы могли управлять динамикой переключения структуры, изменяя освещение или напряжение смещения U_0 . Во всех случаях исчезновение переключения на динамической ВАХ, по

нашему мнению, обусловлено увеличением емкости структуры C_{iD} , образованной емкостью C_i и C_D (рис. 1, *a*). При наблюдении ВАХ на переменном сигнале, через C_{iD} протекает ток смещения, поэтому емкость C_{iD} является своего рода шунтирующим элементом. Шунтирование приводит к уменьшению напряжения на VO_2 переключателе, сопротивление которого схематично обозначено через R_V на рис. 1, *a*, что и является причиной исчезновения переключения.

Как известно, емкость диэлектрика C_i считается постоянной, а емкость ОПЗ C_D зависит от поверхностного потенциала [7], который мы изменяем напряжением смещения U_0 . При наблюдении на частоте 6 kHz при $U_0 < -12.2 \text{ V}$ мы имеем режим сильной инверсии, а при $U_0 > 4.6 \text{ V}$ — режим обогащения, что в том и в другом случае приводит к увеличению емкости ОПЗ. В этих режимах $C_{iD} \approx C_D$, которая по нашим расчетам составляет $\sim 10^{-9} \text{ F}$.

При облучении возникает фотоемкостный эффект, хорошо известный в МДП структурах [8], он наблюдается при фотовозбуждении в собственной полосе поглощения полупроводника. Образующиеся фотоэлектроны увеличивают концентрацию инверсных подвижных электронов \mathcal{I} (рис. 1, *a*), которые находятся вблизи границы Si–SiO₂. При этом ширина области пространственного заряда уменьшается, и емкость ОПЗ под освещенным межэлектродным промежутком увеличивается.

Таким образом, исследован новый режим работы переключателя на основе диоксида ванадия, сформированного на полупроводниковой структуре типа Si–SiO₂–VO₂, при котором динамика переключения управляется напряжением смещения подложки U_0 или световым облучением. Это позволяет использовать данную структуру для разработки новых полупроводниковых приборов, являющихся аналогом тиристоров и фототиристоров. Поскольку переключательные структуры могут быть использованы для автогенерации колебаний [9], то на структуре Si–SiO₂–VO₂ могут быть реализованы датчики интенсивности светового облучения с частотным выходом. Уменьшение межэлектродного промежутка с помощью литографического процесса [10] может значительно уменьшить время переключения планарного VO₂-переключателя. При низких температурах и субмикронных размерах канала переключения большую роль при переключении будут играть полевые эффекты [3], что также расширит частотный диапазон использования Si–SiO₂–VO₂ структур. Изменение оптических свойств VO₂ при ПМИ может быть перспективно для создания оптоэлектронных приборов на основе данной структуры.

Работа выполнена при поддержке грантов Министерства образования РФ № PD02-1.2-183, № УР.01.01.038 и Американского фонда гражданских исследований и развития (CRDF) № PZ-013-02.

Список литературы

- [1] Бугаев А.А., Захарченко Б.П., Чудновский Ф.А. // Фазовый переход металл-полупроводник и его применение. Л.: Наука, 1979. 183 с.
- [2] Бугаев А.А., Никитин С.Е., Теруков Е.И. // Письма в ЖТФ. 2001. Т. 21. В. 21. С. 76-80.
- [3] Борисков П.П., Величко А.А., Пергамент А.Л. и др. // Письма в ЖТФ. 2002. Т. 28. В. 10. С. 13-18.
- [4] Stefanovich G., Pergament A., Stefanovich D. // Journal of Physics: Condensed Matter. 2000. V. 12. P. 8837-8845.
- [5] Величко А.А., Кулдин Н.А., Стефанович Г.Б. // Матер. Междунар. конф. „Физика электронных материалов“. Калуга. 2002. С. 362-363.
- [6] Величко А.А., Кулдин Н.А. // Тез. Междунар. конф. „Ломоносов-2002“. М., 2002. С. 191.
- [7] Зи С. // Физика полупроводниковых приборов. М.: Мир, 1984. Т. 1. 455 с.
- [8] Пеннин Н.А. // ФТП. 2000. Т. 34. В. 5. С. 562-566.
- [9] Викулин И.М., Стафеев В.И. // Физика полупроводниковых приборов. М.: Радио и связь, 1990. 264 с.
- [10] Пергамент А.Л., Стефанович Г.Б., Величко А.А. и др. // Матер. Всерос. науч. конф. по физике низкотемпературной плазмы (ФНТП-2001). Петро-заводск, 2001. С. 169.