

- ERP системы громоздки и как следствие дороги, при небольших масштабах фирмы, покупку такой системы просто невозможно окупить;

- внедрение больших ERP систем — трудоёмкий процесс, требующий высокой квалификации специалистов, занимающихся этим, и небольшая компания не сможет позволить себе иметь таких людей в штате, а использование сторонних консультантов обойдётся в приличную сумму;

- небольшие компании как правило довольно динамичны, что повлечёт за собой необходимость частой перенастройки системы, что сложновыполнимо по причинам, описанным в предыдущем пункте.

Вследствие вышеперечисленных сложностей, обычно используется несколько небольших специализированных систем для автоматизации разных аспектов деятельности предприятия. В этом случае остро встаёт проблема интеграции этих приложений, так как будучи разрозненными, они не могут дать всех тех преимуществ, которые даёт единая ИС.

NauRP — лёгкая платформа для построения и интеграции бизнес-приложений, основанная на web-технологиях и открытых стандартах, разработанная компанией NAUMEN. Она написана на языке Python на базе сервера приложений Zope. В настоящий момент на NauRP реализованы модули CRM (управление отношениями с клиентами), ServiceDesk (управление обработкой запросов клиентов), Inventory (поддержка структуры материальных ресурсов компании) и модуль управленческого учёта. Отработана

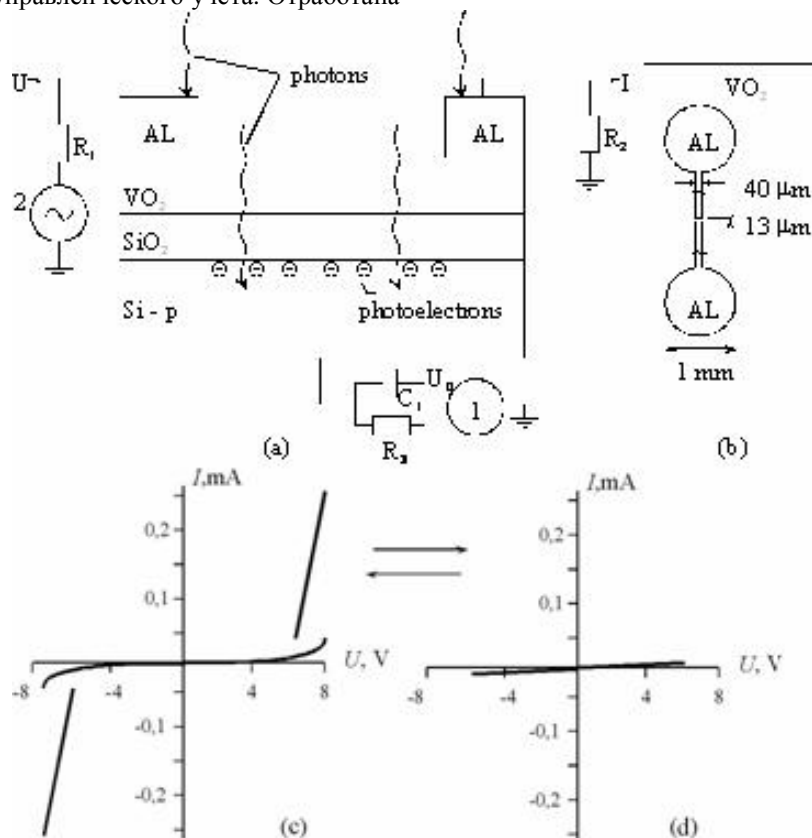
интеграция со сторонними системами, такими как продукты компаний 1С и Фолио, а также интеграция с другими продуктами компании NAUMEN (NauDoc, NauPhone). Внедрение систем на основе NauRP, таким образом, закрывает белые пятна в информационной инфраструктуре компании, одновременно позволяя связать воедино существующие системы.

### Управление переключением в структуре Si-SiO<sub>2</sub>-VO<sub>2</sub>

Кулдин Н. А., Величко А. А.

Петрозаводский государственный университет,  
Петрозаводск

Разработка новых полупроводниковых элементов совместимых с кремниевой технологией, но основанных на других физических эффектах привлекает большое внимание исследователей. В данной работе описывается Si-SiO<sub>2</sub>-VO<sub>2</sub> структура (рис.1.) с управляемой динамикой переключения, а также приводятся результаты моделирования ее свойств. Эффект переключения обусловлен переходом металл-изолятор (ПМИ) в двуокиси ванадия. Механизм переключения обычно трактуется в рамках модели критической температуры, однако, как было показано нами, на температуру ПМИ можно влиять электрическим полем, а также инжекцией заряда [1].



**Рис.1.** Схема включения структуры (а), 1 – постоянный источник, 2 – генератор ( $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 10 \text{ }\Omega$ ,  $R_3 = 560 \text{ k}\Omega$ ,  $C_1 = 0.022 \text{ }\mu\text{F}$ ); вид контактов (б), динамическая вольт-амперная характеристика (ВАХ) структуры с (с) и без (д) переключения.

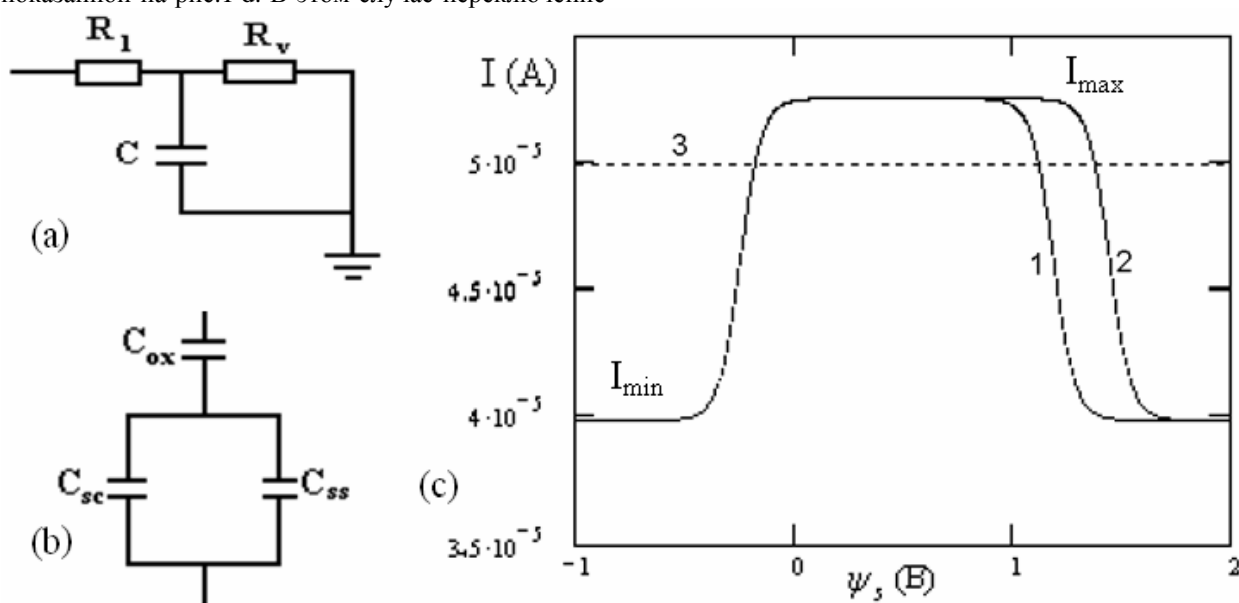
Пленка диоксида ванадия (~3000 Å) осаждалась на Si-SiO<sub>2</sub> (Si-p-типа,  $r = 1 \text{ } \Omega\cdot\text{cm}$ ; SiO<sub>2</sub> ~1000 Å) подложку методом реактивного магнетронного распыления. Сверху наносились алюминиевые контакты (рис.1.b). ВАХ структуры исследовалась на переменном сигнале в режиме генератора тока (большое сопротивление  $R_I$ ). Исследуемая структура характеризуется ВАХ переключательного типа (рис.1.c). 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  $U_0 < -12.2 \text{ V}$  наблюдался переход к динамической ВАХ показанной на рис.1 d. В этом случае переключение

отсутствует. При положительном смещении подложки вырождение переключения наблюдалось при  $U_0 > 4.6 \text{ V}$ .

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  $U_0 = -8 \text{ V}$  и освещенности  $5 \cdot 10^{-4} \text{ Jcm}^{-2}\text{s}^{-1}$  переключение исчезало, и динамическая ВАХ имела вид, показанный на рис.1.d.

Таким образом, мы могли управлять динамикой переключения структуры изменяя освещение (фотоёмкостный эффект) или напряжение смещения  $U_0$ .

Эквивалентная схема структуры представлена на рисунке 2.a.b



**Рис.2.** Эквивалентная схема (a),  $R_I$  – ограничительное сопротивление,  $R_v$  – сопротивление пленки диоксида ванадия,  $C$  – емкость МДП-структуры (b), состоящая из трех емкостей:  $C_{ox}$  – подзатворного диэлектрика SiO<sub>2</sub>,  $C_{sc}$  – области пространственного заряда (ОПЗ),  $C_{ss}$  – поверхностных состояний (ПС); зависимость  $I$  от  $\psi_s$  (c).

При подаче переменного напряжения  $U$ , через резистор  $R_v$  протекает ток который при превышении некоторого амплитудного значения  $I_k$  вызывает эффект переключения, обусловленный разогревом VO<sub>2</sub> до температуры ПМИ. Было промоделировано амплитудное значение тока в зависимости от поверхностного потенциала, определяемого напряжением смещения  $U_0$ , и сравнение его с  $I_k$  (кривая 3 рис.2.c). В модели учитывалась зависимость  $C_{sc}$  и  $C_{ss}$  от частоты сигнала.

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_{ox}} + \frac{1}{C_p + C_B + \frac{C_n}{1 + w^2 t_n^2} + \frac{C_{ss}}{1 + w^2 t_{ss}^2}} \quad (1)$$

где  $t_{ss}$  – время перезарядки ПС,  $\tau_n$  – время жизни неосновных носителей,  $C_B$  – емкость ОПЗ в области обеднения и слабой инверсии,  $C_p$  – емкость ОПЗ в обогащении,  $C_n$  – емкость ОПЗ в области сильной инверсии.

Для схемы представленной на рис 2.a ток через пленку диоксида ванадия рассчитывается по формуле:

$$I = \frac{U}{\sqrt{(R_1 + R_v)^2 + (wCR_1R_v)^2}} \quad (2)$$

Выводы:

**1.** При увеличении частоты сигнала подаваемого на структуру происходит уменьшение  $I_{max}$  ( $I_{max}$ ,  $I_{min}$  – максимальное и минимальное значение тока при варьировании  $\psi_s$  рис.1.c), т. е.  $I_{max} < I_k$ . В результате чего переключатель не работает в данном диапазоне частот. Однако если уменьшит геометрические размеры переключателя, то  $I_{max}$  достигает  $I_k$  и переключение становится возможным. При частотах порядка 1 – 10 kHz переключатель имеет две рабочие точки переключения (рис.2.c, кривая 1), при положительном и отрицательном значении поверхностного потенциала. Однако при переходе в более

высокочастотную область, рабочая точка ( $y_s > 0$ ) сдвигается в область больших значений  $y_s$ , которая реально недостижима (рис.2.с, кривая 2). В результате переключатель имеет одну рабочую точку.

2. Влиять на параметры переключателя можно при помощи варьирования длины и ширины алюминиевых контактов, а так же расстояния между ними.

Критический ток  $I_k = j_k h d$  (где  $j_k$  – критическая плотность тока при ПМИ,  $h$  – ширина контактов,  $d$  – толщина пленки). Критическое напряжение  $U_k = r j_k l$  (где  $\rho$  – удельное сопротивление пленки  $\text{VO}_2$ ,  $l$  – расстояние между контактами).

Подбирая данные параметры можно выводить структуру в режим управляемого переключения в очень широком диапазоне частот, что делает ее перспективным элементом в микроэлектронике.

Работа выполнена при поддержке гранта Министерства Образования РФ и Американского Фонда Гражданских Исследований и Развития (CRDF) № PZ-013-02.

[1] А.А. Величко, Н.А. Кулдин, Г.Б. Стефанович, А. Л. Пергамент //ПЖТФ, т.29, в.12, с.49-53. (2003).

#### **Метод контроля качества полупроводниковых интегральных устройств и его практическое применение** Номоконова Н.Н.

Предлагается обсудить проблему выбора высоконадежных полупроводниковых интегральных электронных устройств.

Один из подходов к проблеме – метод поиска информативных параметров, пригодных для определения индивидуальных технических свойств указанных устройств и его практическое применение к устройствам SMD-технологии (технологии монтажа на поверхность). Ядром метода является «двухуровневая» модель информативных параметров.

Прежде всего, необходимо выбрать информативные параметры (ИП) первого уровня – реальные параметры электрической природы. Основными условиями и ограничениями при выборе ИП первого уровня являются: использование только неразрушающих методов контроля, возможность оценки технического состояния устройств по мгновенным значениям информативных параметров, инвариантность относительно технологии и функционального назначения объекта контроля (ОК), возможность по числовым величинам ИП различать ОК в смысле уровня дефектности. Определен принцип оптимальности, за который предложено принять определение идеального информативного параметра, т.е. параметра, принимающий одно значение (например, 0), если ОК потенциально ненадежен, и другое значение (например, 1), если ОК надежен.

Реальные ИП первого уровня обладают рядом отрицательных свойств, главные из которых – зависимость от режимов измерений и от условий внешней среды.

ИП второго уровня формируется на основе выполнения условия об обеспечении ослабления отрицательных свойств ИП первого уровня. В работе предлагается использовать сами «отрицательные» свойства в качестве ИП, например, если параметр сильно зависит от температуры окружающей среды, то в качестве информативной характеристики второго уровня можно выбрать изменения ИП первого уровня под воздействием температурных нагрузок на ОК.

ИП первого уровня могут также зависеть, например, от частоты тестовых воздействий и от электрических режимов. При этом в качестве ИП второго уровня можно рассматривать характер зависимости ИП первого уровня от частоты или других режимов контроля.

Таким образом, параметры второго уровня отражают зависимости ИП первого уровня от приложенных к ОК внешних нагрузок, вызванных условиями измерения или внешними случайными воздействиями в условиях эксплуатации.

Для проверки и подтверждения представленных теоретических результатов был разработан информационно-измерительный комплекс. В качестве ИП первого уровня использовались критическое питающее напряжение (КПН) – минимальное напряжение питания, при котором ОК сохраняет функциональную работоспособность.

#### **Практическое применение метода к устройствам SMD-технологии**

Во-первых, компоненты для поверхностного монтажа выдерживают высокие температуры, что дает возможность применять более мощные тестовые воздействия. Во-вторых, уже в ходе сборки устройство в целом претерпевает серьезный тепловой удар при пайке в конвекционной или инфракрасной печи, последствия которого могут служить информативными параметрами для контроля. Естественно, при этом надо иметь информацию о реальных параметрах компонентов до сборки. Применительно к использованию КПН информативным будет прежде всего изменение этого параметра, происшедшее вследствие теплового удара. Кроме того, информативными являются и гистерезисные явления в температурных зависимостях ИП первого уровня при термоциклировании. В нашем случае в качестве ИП второго уровня термодинамической природы используется площадь петли гистерезиса зависимости КПН каждой ИС, составляющих ОК, от напряжения на одном из прямосмещенных  $p-n$  переходов, содержащемся в этой ИС (последний параметр пропорционален температуре кристалла).

Теоретические и практические результаты, полученные с использованием предложенного метода, позволяют в качестве ИП первого и второго уровня использовать и другие параметры, что, конечно, потребует создания других аппаратных средств.