

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТОНКИХ ПЛЕНОК

Е.Ф. Певцов, А.О. Горелов, А.П. Пыжова

*Московский государственный институт радиотехники электроники и автоматики
(технический университет), 119454 Москва, пр. Вернадского, д.78; тел: (095)-4349347; pevtsov@mirea.ru*

1. Введение

В последние годы в устройствах микро и наноэлектроники широко применяются структуры на основе активных диэлектрических пленок. Примерами могут служить микросхемы энергонезависимой сегнетоэлектрической памяти [1] и многоэлементные тепловые приемники излучения [2]. Отсюда вытекает необходимость разработки специальных измерительных средств, позволяющих проводить исследования электрофизических свойств диэлектрических тонких (0,1...2 мкм) пленок. Данная работа показывает, как использование концепции виртуальных измерительных средств National Instruments и среды программирования LabView, решает эту задачу. Разработанный комплекс аппаратуры включает как стандартизированные измерительные средства, так и встраиваемые интерфейсные платы и позволяет проводить измерения вольт-фарадных, вольт-амперных, Р-Е и I-Е характеристик, пирозлектрических коэффициентов в структурах с сегнетоэлектрическими, пирозлектрическими и диэлектрическими тонкими пленками. Особенностью данного измерительного комплекса является открытость архитектуры и простота программирования, что выгодно отличает его от аналогичных разработок, предназначенных для оснащения научно-исследовательских лабораторий и участков технологического контроля [3].

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 01-02-16607, 02-02-06353), Министерства образования РФ (проект 202.03.01.029), а также INTAS (проект N 01-0075).

2. Структура измерительного комплекса и его основные характеристики

Измерительный комплекс состоит из двух функциональных модулей: 1) модуля измерений диэлектрических характеристик и характеристик переключения поляризации и 2) модуля контроля вольт-амперных характеристик и исследований пирозлектрических свойств. Такое исполнение обусловлено спецификой очень малых значений токов в диэлектриках, при контроле которых требуются специальные меры по экранированию образцов и первичных цепей измерения.

Нормированные метрологические характеристики комплекса обеспечиваются применением стандартных измерительных средств, соединенных с компьютером с помощью приборного бит-параллельного и байт-последовательного интерфейса обмена данными и сигналами управления. Для реализации интерфейса применяется плата PCI GPIB-PCПа NI 488.2 (производство National Instruments, USA) и соответствующие программные модули LabView. Для задания режимов измерения и развертки прикладываемого к образцам напряжения применяются платы расширения шин ISA и PCI, содержащие АЦП и ЦАП, а также внешние приборы: генераторы сигналов Г3-109, Г6-33 или блоки питания Б5-48 и LPS-304 (Mothes Industries Inc., Taiwan), управляемые через LPT или COM порты ПК.

В итоге реализован многофункциональный автоматизированный измерительный комплекс, который позволяет выполнять следующие исследования:

- ✓ определять значение пирозлектрического коэффициента методом низкочастотной температурной волны (период модуляции температуры задается в пределах от 0,1 до 50 с, амплитуда 1...5 °С, предел чувствительности по току 10^{-12} А, относительная погрешность измерений пирозлектрического коэффициента не более 20%);

- ✓ регистрировать сегнетоэлектрический гистерезис с выделением заряда переключения поляризации за счет вычитания заряда дифференциальной емкости "пустого" несегнетоэлектрического конденсатора (диапазон напряжений $-200...+200\text{В}$, частота развертки $0,01...10\text{кГц}$, эталонная емкость $10...100\text{нФ}$, погрешность измерений поляризации не более 10%);
- ✓ определять значение остаточной поляризации по токам переключения при воздействии на образец образцу последовательности из двух пар разнополярных импульсов электрического напряжения (диапазон напряжений переключения $-15...+15\text{В}$, время нарастания импульса не более $0,1\text{мкс}$, максимальная частота 500кГц , погрешность измерения поляризации не более 30%);
- ✓ измерять диэлектрические характеристики пленок при произвольно программируемой форме развертки приложенного к образцу напряжения (диапазон напряжения развертки до 200В , тестовый сигнал с амплитудой 100мВ на частотах от 100Гц до 100МГц , погрешность измерения емкости и тангенса диэлектрических потерь не более 0,1%);
- ✓ измерять в том же диапазоне напряжений статические токи утечки (чувствительность по току 10^{-14}А , погрешность измерения не более 20%);

3. Измерения характеристик переключения поляризации и диэлектрических свойств

Для исследований характеристик переключения поляризации применяются схемы с последовательной образцовой емкостью (схема измерения заряда, P-E характеристики) и с последовательным образцовым сопротивлением (схема измерения тока, I-E характеристики). Регистрирующим прибором служит цифровой запоминающий осциллограф С9-8 ("Калибр", Белоруссия), развертка задается ЦАП или генератором ГЗ-109.

Управление работой комплекса осуществляется программой, разработанной в среде LabView. Пример графического интерфейса пользователя и соответствующий программный модуль для регистрации сегнетоэлектрического гистерезиса приведен на рис.1 и рис.2.

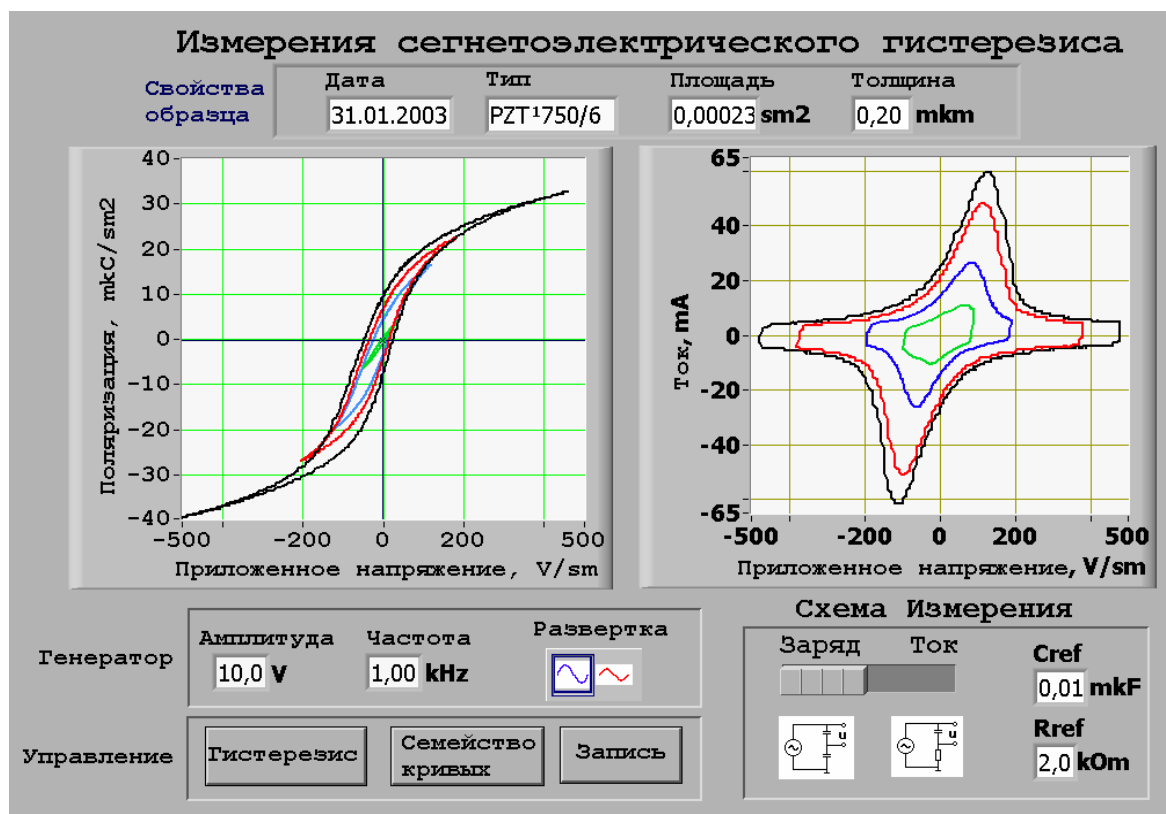


Рис.1. Интерфейс пользователя при измерениях сегнетоэлектрического гистерезиса, реализованный в среде LabView.

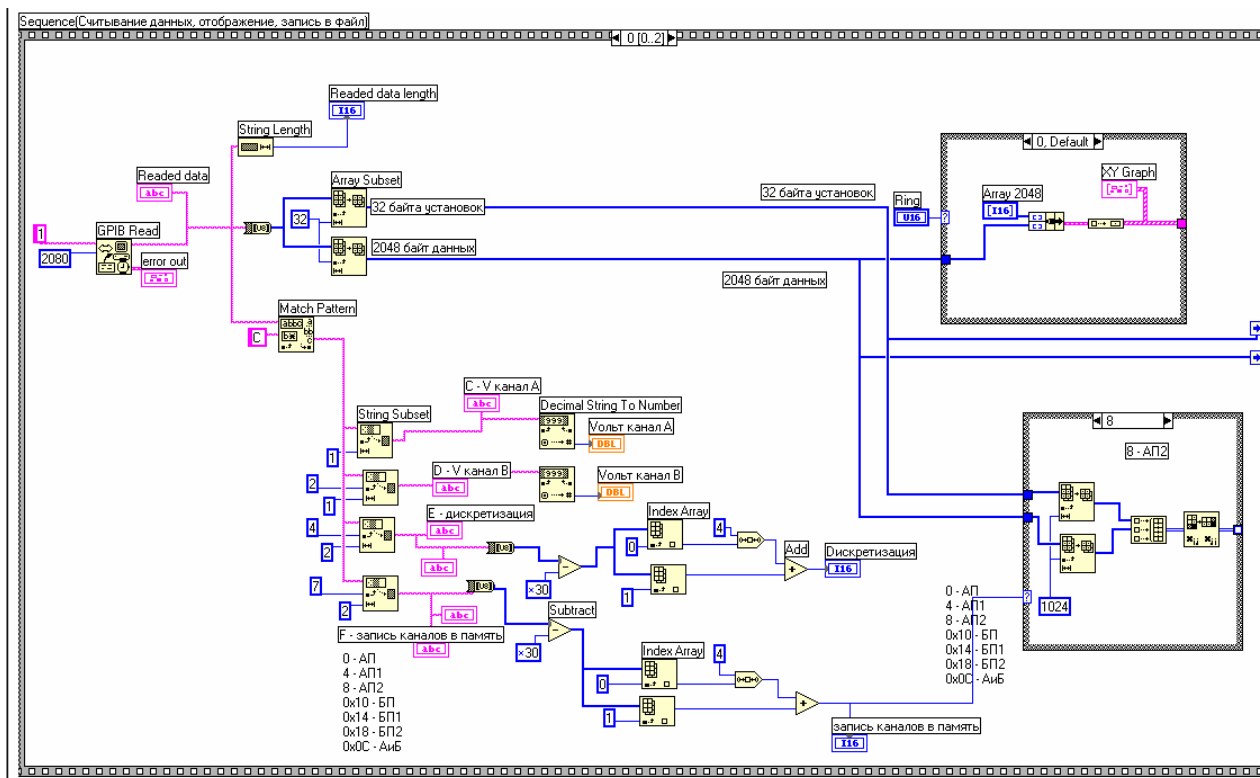


Рис.2. Фрагмент программного модуля LabVIEW для передачи данных от цифрового осциллографа C9-8 в ПК через плату интерфейса PCI-GPIB NI 488.2.

Для исследований диэлектрических свойств применяются измерители иммитанса E7-12, E7-14 ("Калибр", Белоруссия) и LCR-819 (Goog Will Instrument Co., Ltd., Taiwan). Эти приборы отличаются частотами тестового сигнала, что позволяет проводить исследования методами диэлектрической спектроскопии в диапазоне частот от 100Гц до 100МГц. Развертка задается как от встроенных источников напряжения так и от внешних управляемых по LPT и COM портам источников.

При измерениях переключения поляризации и диэлектрических характеристик исследуемый образец располагается на термостатируемой план-шайбе зондовой аналитической установки ЭМ6030, что позволяет задавать температуру образца в диапазоне от 30 до 200°C и поддерживать ее с погрешностью менее 1°C. К контактным площадкам исследуемого образца с помощью микрометрических манипуляторов подсоединяются зонды, подключенные к коммутационному блоку с герконовыми реле, обеспечивающими требуемую конфигурацию схемы измерений. К этому же блоку подключены измерительные приборы и узлы задания режимов измерения.

4. Контроль вольт-амперных характеристик и пироэлектрические измерения

Функциональная схема измерительного модуля приведена на рис.3. Для измерений малых токов (вольт-амперные характеристики, пироэлектрические токи) используется универсальный электрометрический вольтметр В7Э-42 ("Белвар", Белоруссия) обеспечивающий предельную чувствительность по току 10^{-14} А. Для управления работой электрометра также используется интерфейс GPIB. При этих измерениях исследуемые структуры располагаются в специальной экранирующей камере. Изменение температуры образца осуществляется при помощи элемента Пельтье, ток через который задается соответствующим программным модулем LabView, управляющим блоками питания Б5-43, или Б5-47. Для контроля температуры образца применяется термopара и плата АЦП PCI-6024E (National Instruments, USA).

Для исследований пироэлектрических свойств применяется статический метод и более производительный метод низкочастотной модуляции температуры. В последнем случае

температура образца изменяется по синусоидальному закону с определенной амплитудой T_0 и частотой f . По пироэлектрическому току короткого замыкания определяется соответствующее изменение заряда на поверхности пироэлектрического исследуемого образца и вычисляется значение пироэлектрического коэффициента $p = \frac{I_0 \sin \varphi}{2\pi f T_0 A}$, где I_0 - амплитуда тока; φ - фазовый сдвиг между температурой и током; A - площадь электродов пироэлектрического конденсатора.

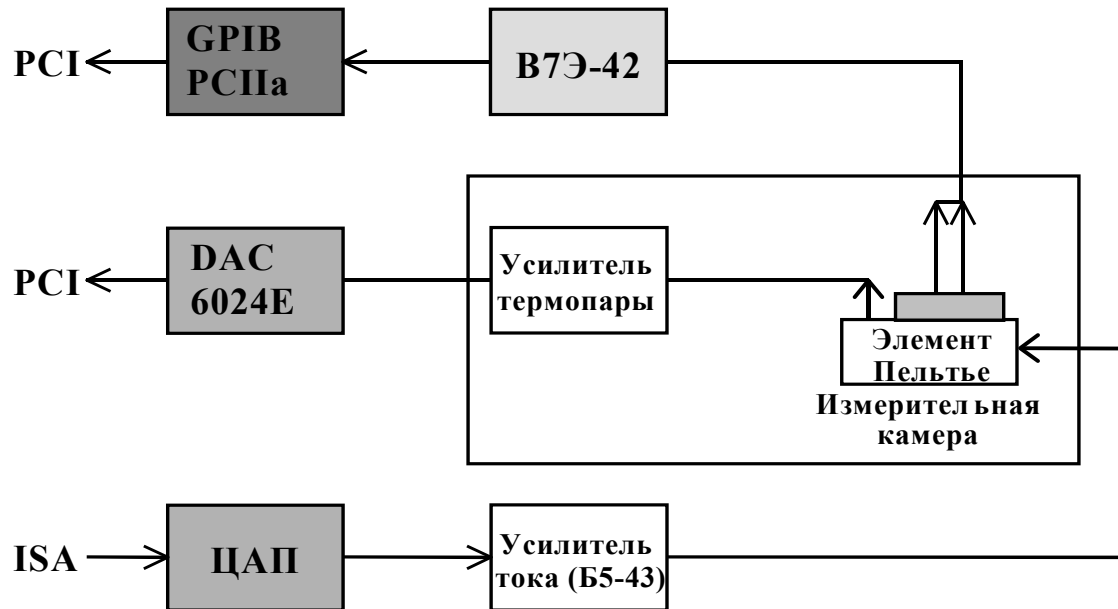


Рис.3. Функциональная схема модуля измерений пироэлектрических коэффициентов и вольт-амперных характеристик.

5. Выводы

Среда программирования LabView и технологии, предлагаемые компанией National Instrument, представляют собой универсальные инструменты разработки систем сбора и обработки данных, в которых комбинируются внешние средства стандартизованные измерений и устройства, встроенные в ПК. Разработанный на их основе аппаратно-программный комплекс имеет характеристики, сходные с зарубежными аналогами (измерительный комплекс RT-6000 (Radiant Technologies, USA)), но отличается большими функциональными возможностями, имеет открытую архитектуру и сравнительно низкую стоимость. На разработанном оборудовании проведены комплексные исследования электрофизических свойств тонких сегнетоэлектрических пленок. В результате получены новые экспериментальные данные для структур на основе керамических пленок цирконата-титаната свинца и сополимеров винилиденфторида, предназначенных для многоэлементных пироэлектрических приемников излучения и для устройств сегнетоэлектрической энергонезависимой памяти. Полученные результаты позволили уточнить представления о физике процессов переключения поляризации и влиянии переходных слоев на свойства структур и приборов на основе активных диэлектрических материалов [4]. На основе комплекса поставлена лабораторная работа по изучению свойств сегнетоэлектрических материалов.

Литература

1. J.F. Scott, *Ferroelectrics Review*, V.1(1), pp.1-32, (1998).
2. P. Muralt, *Reports on Progress in Physics*, V.64, pp.1339-1388, (2001).
3. S. Okamura, S. Miyata, Y. Mizutani, T. Nishida, T. Shiosaki, *Jpn. J. Appl. Phys.*, V.38, pp.5364-5367, (1999).
4. M. Maletov, E. Pevtsov, A. Sigov, A. Svtina, *Ferroelectrics*, V.286, pp.301-309, (2003).