

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Д.А. Новиков, В. А. Семенов.

Введение

При разработке приборов микро- и нанoeлектроники необходим текущий контроль за параметрами изготовления полупроводниковых приборов и структур. Для этой цели используется набор измерительных методик, измеряющих наиболее важные параметры исследуемого объекта. К таким методикам можно отнести: измерение вольт-амперной характеристики (ВАХ), вольт – фарадной характеристики (ВФХ), измерение фотоэдс, измерение шумовых характеристик приборов и другие. Отечественная промышленность не выпускает измерительные комплексы, сочетающие в себе набор информативных методик, работающих под управлением программируемого модуля. Зарубежные автоматизированные комплексы дорогие, неремонтопригодные и плохо адаптируются к отечественным условиям.

Основная часть

Разработанный аппаратно-программный комплекс (АПК) предназначен для исследования полупроводниковых приборов конструктивно представляет собой устройство, состоящее из нескольких взаимосвязанных блоков. Аппаратная часть комплекса состоит из цифрового и аналогового блоков, которые собраны в отдельных корпусах для исключения влияния цифровых наводок на входы аналоговых модулей комплекса. Тем самым достигается повышение точности измерения за счет снижения уровня шума в аналоговых модулях. Аналоговый блок представляет собой отдельную печатную плату, на которой собраны модули для измерения вольт – фарадных характеристик, вольт – амперных характеристик, фотоэлектрические и шумовые свойства исследуемого полупроводникового прибора. Для переключения модулей аналогового блока в соответствии с заданной программой измерения имеется блок коммутации, управляемый с цифрового блока двоичным словом, генерируемым выходным регистром.[1] Источник питания у блоков общий, собран по трансформаторной схеме, причем цифровой блок запитан от отдельной вторичной обмотки 5 В, а аналоговый блок от двух вторичных обмоток по 18 В переменного напряжения. Информация с аппаратной части комплекса передается на персональный компьютер (ПК) посредством USB-порта. Блок-схема комплекса представлена на рисунке 1, а внешний вид в собранном виде на рисунке 2.



Рисунок 1. Блок-схема АПК.

Помимо аналогового и цифрового модулей в состав АПК входит оптический блок, задача которого — засветка исследуемой структуры излучением с необходимыми параметрами при измерении фотоэлектрических и шумовых характеристик.

Сигнал с исследуемой структуры подается на вход выбранного аналогового модуля, после чего, в зависимости от типа измеряемых характеристик, преобразуется по заложенной измерительной методике и поступает на АЦП цифрового модуля. Далее преобразованный в двоичный код сигнал через USB-порт поступает в ПК, где и обрабатывается при помощи программного обеспечения (ПО) в удобную для восприятия форму.

Управление процессом измерения осуществляется с ПК. Оператор посредством ПО выбирает режим измерения, после чего с ПК на цифровой модуль приходит управляющий сигнал, после обработки которого микропроцессором модуля на внешних регистрах фиксируется некий двоичный код, задающий активацию той или иной комбинации элементов коммутации на аналоговом блоке АПК.[2]



Рисунок 2. Внешний вид разработанного АПК.

Модуль измерения ВФХ

Измерение ВФХ в данном модуле основано на методе, в основе которого лежат свойства дифференцирующего усилителя. В отличие от мостовых схем и схемы емкостного делителя, применение дифференцирующего усилителя дает линейную зависимость выходного напряжения от значения измеряемой емкости, что принципиально повышает точность измерения этого параметра. Другим преимуществом используемого схемотехнического решения является также и то, что оно позволяет снизить уровень шумов и неизбежных наводок, которые имеют место в других схемотехнических решениях. Использованная при создании АПК комплектация взята от ведущих мировых производителей электронной и микропроцессорной техники.

Схема электрическая-принципиальная модуля измерения ВФХ показана на рис.3. В схеме измеритель емкости собран на ИМС AD818 (DA7). Данная схема хорошо себя зарекомендовала при работе с высокочастотными сигналами (1 МГц) и позволяет с высокой стабильностью во времени усилить сигнал на входе в 100 раз. Здесь используется три диапазона измерений: 0,5 ... 60, 60 ... 280, 280 ... 4000 нФ. Переключение диапазонов реализовано за счет изменения сопротивления резистора в цепи обратной связи DA7 при помощи реле P6, P7. Подача постоянного напряжения смещения зон на схему осуществляется через резистор R19.

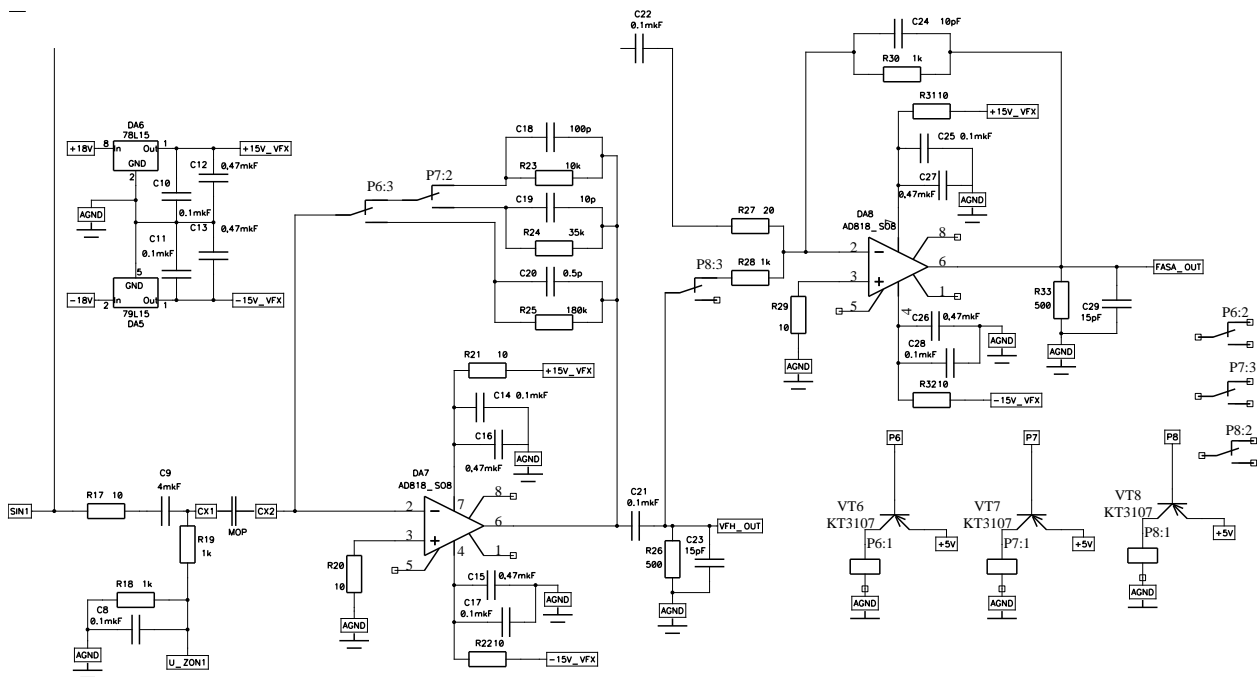


Рисунок 3. Схема электрическая-принципиальная модуля измерения ВФХ.

Кроме схемы измерения емкости полупроводниковых структур, в модуле собран измеритель разности фаз между измеряемым сигналом и тестовым. Принцип определения разности фаз основан на методе трех амплитуд. Схема, реализующая, данный метод собрана на ИМС AD818 (DA8) и представляет инвертирующий сумматор двух сигналов. Причем, прежде чем суммировать, тестовый сигнал усиливается в 50 раз, а сигнал на выходе измерителя емкости остается без изменений. Это необходимо для повышения точности измерений. Реле P8 здесь служит для контроля тестового сигнала. В исходном состоянии P8, DA8 осуществляет суммирование. Если P8 включить, то DA8 становится инвертирующим усилителем входного сигнала. Анализ измерений показал, что погрешность измерения ВФХ на пределах измерения не превышает 1, 0,5, 0,5 % соответственно. Погрешность измерения разности фаз не превышает 1%.

Модуль измерения ВАХ

Измерение ВАХ основано на измерении падения постоянного напряжения, возникающего на эталонном сопротивлении, включенном последовательно с измеряемой полупроводниковой структурой. Принципиальное ограничение измерения нижнего порога измеряемого тока задается величиной входного тока входного каскада модуля ВАХ (рис.4) реализованный на ИМС OP97FS (DA1). ИМС OP97FS (DA4) служит окончательным усилителем измеряемого сигнала. Общий коэффициент усиления на DA1, DA4 составляет 2500.

Для расширения динамического диапазона во входной цепи измерителя используется переключение величины эталонного сопротивления нагрузки, сигнал с которого несет информацию о ВАХ исследуемого объекта. Схема переключения реализована на реле P4 и резисторах R1-R3. Показанный модуль измеряет токи, протекающие через полупроводниковую структуру, в диапазоне от 10 nA до 600 nA с погрешностью не выше 1 %. Верхний и нижний пороги диапазоны измеряемых токов могут быть изменены подбором эталонных сопротивлений: для увеличения измеряемых токов величины сопротивлений должны быть пропорционально уменьшены. Понижение минимально измеряемого тока ниже 100 nA требует использования специализированных микросхем доступных на территории РФ и имеющие сравнительно не высокую цену.

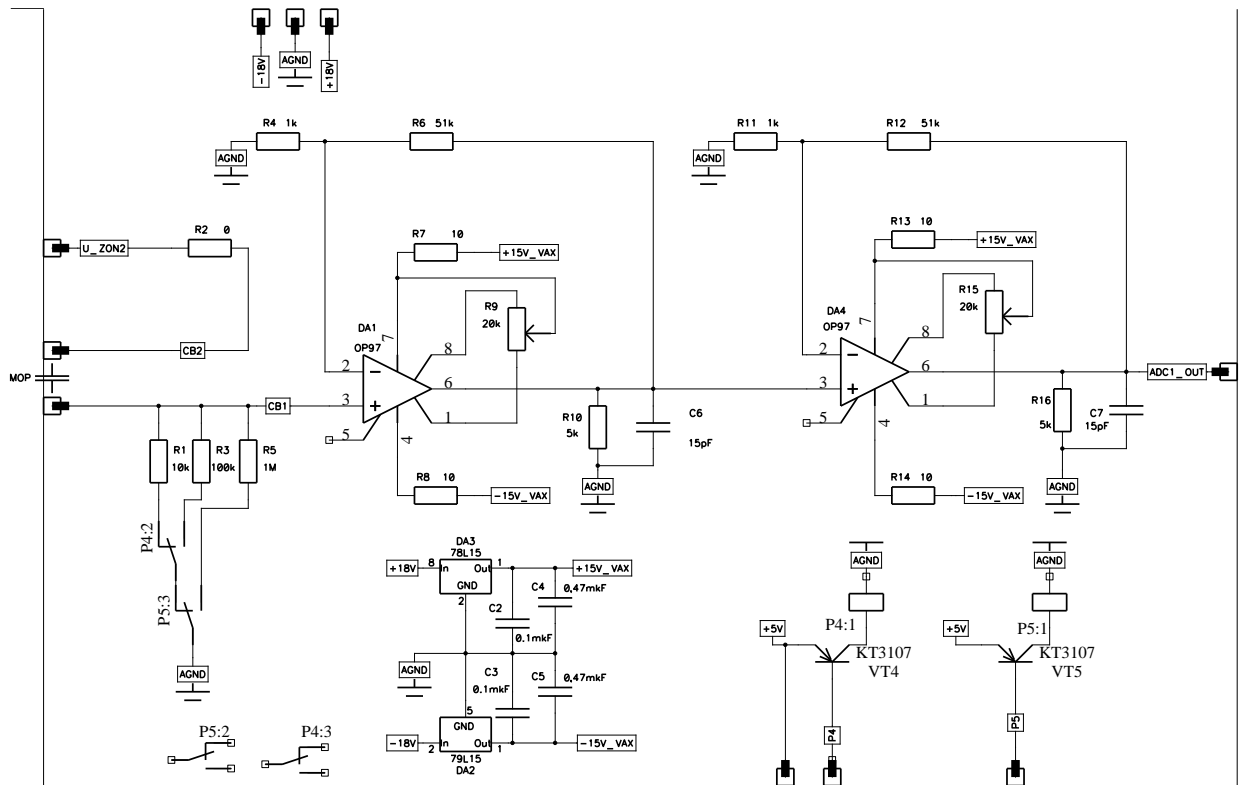


Рисунок 4. Схема электрическая-принципиальная модуля измерения ВАХ.

Модуль измерения ФЭДС

Данный модуль собран по схеме резистивно-емкостного делителя, в котором полупроводниковая структура является источником тока, генерируемого за счет освещения модулированным излучением. Схема электрическая-принципиальная модуля измерения ФЭДС показана на рис.5.

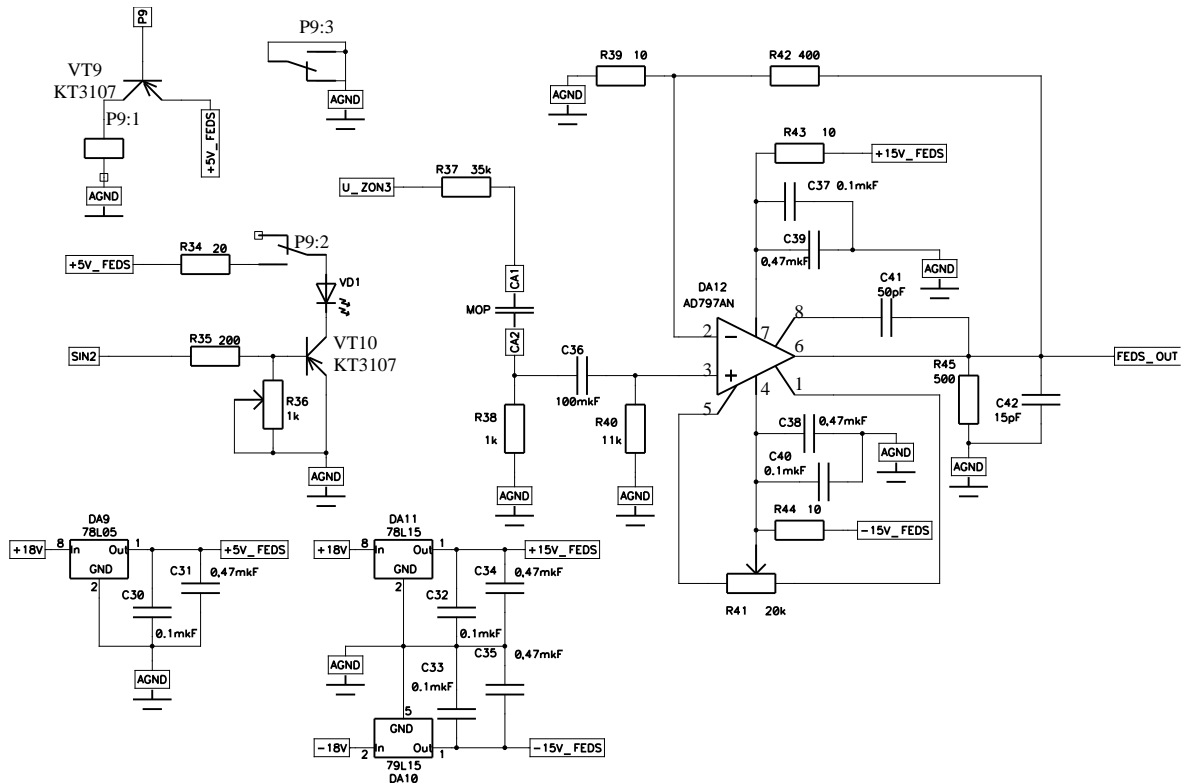


Рисунок 5. Схема электрическая-принципиальная модуля измерения ФЭДС.

Здесь делитель собран на элементах $R37$, исследуемая полупроводниковая структура, $R38$. При освещении полупроводниковой структуры модулированным излучением на частотах от 30 Гц до 100 кГц , в структуре за счет энергии падающих квантов начинается движение заряженных частиц. В результате чего во входной цепи модуля появляется ток с той же частотой и формой сигнала, с которыми осуществляется освещение. Падение напряжения на $R38$ измеряется при помощи схемы усиления на ИМС AD797AN ($DA12$). ИМС включена по схеме усиления с коэффициентом усиления 42. AD797AN зарекомендовала себя как малощумящая ИМС с высокими усилительными способностями, линейной АЧХ до 1 МГц и высокой временной стабильностью. Модулированное излучение создает GaAs светодиод с длиной волны излучения $0,92 \text{ мкм}$ при мощности оптического излучения около 1 мВт на удалении 1 см . Модуляция излучения светодиода получена за счет (последовательно включенного с источником прямого смещения светодиода) синусоидального сигнала амплитудой $0,7 \text{ В}$ и частотой $30 \text{ Гц} - 100 \text{ кГц}$ с генератора, собранного на специализированной микросхеме (ADG706 BRU). Фоновая засветка исследуемого объекта создается не модулированным излучением светодиода с длиной волны генерируемого излучения $0,45 \text{ мкм}$. Мощность фоновой засветки может быть изменена программно поскольку данный светодиод запитан от ЦАП цифрового блока. Точность измерения ФЭДС не хуже 1% . [3].

Заключение

В результате проектного группового обучения разработан аппаратно программный комплекс (АПК) «Метроном - 04», который отличается от предыдущей версии комплекса следующими позициями:

1. Доработан конструктив заключающийся в разделении аналоговой и цифровой части в разные корпуса, что должно уменьшить и снизить уровень шумов, а значит поднять чувствительность аналоговых измерителей.
2. Разработана световая индикация каждого из блоков, показывающая состояние налогового блока в процессе измерения.
3. Управление АПК переведено на USB 2.0, что позволило поднять скорость обмена данными между комплексом и ПК.
4. Доработана схема измерения вольт - фарадных характеристик, в которой к большому диапазону измеряемых емкостей и высокой линейности амплитудной характеристики, добавлено расширение полосы рабочих частот от 10 кГц до 1 МГц , что необходимо, в частности, для исследования светодиодных структур нанoeлектроники.

Разработанный АПК обладает высокими эксплуатационными характеристиками и широкими метрологическими возможностями, так же высокой точностью измерения свойств полупроводниковых приборов и удобным интерфейсом пользователя написанного на языке высокого уровня (Delphi). В настоящее время решается вопрос о мелкосерийном производстве комплекса на договорных началах.

Список использованных источников:

1. В. Н. Давыдов, А. В. Вайцеховский, Фотоэлектрические МДП структуры из узкозонных полупроводников. // Сов. Радио. 1990., - 327 с.
2. В.Н. Давыдов, П.Е. Троян, Н.Г. Зайцев, С.В. Беляев. Автоматизированный комплекс для исследования полупроводниковых структур.// Известия Томского политехнического университета. 2006. Т. 309. №8. с. 42-45.
3. Н.Г. Зайцев, В.Н. Давыдов, П.Е. Троян. Измерение емкости МДП - структуры с помощью дифференцирующего усилителя. // Научная сессия ТУСУР – 2006. Материалы докладов всероссийской научно-технической конференции 4-7 мая 2006, часть 4, с. 77-80.