

1. Природные алмазы России. / Под ред. В.Б. Кваскова/ – М.: Полярон, 1997. - 304 с.
2. Ральченко, В. Г., Конов А.В. CVD–алмазы в электронике // «Электроника». – М.; - 2007. - № 4. - С.58 - 67.
3. Шаронов Г.В, Большаков А.П., Ральченко В.Г., Казючиц Н.М., Петров С.А.. Ультрафиолетовые детекторы на основе эпитаксиальных алмазных пленок, выращенных на

монокристаллических алмазных подложках методом газофазного синтеза.//Журнал прикладной спектроскопии. – 2010. – Т.76, № 5. – С. 714-719.

4. Шаронов Г.В., Петров С.А. Суперфинишная полировка алмазных подложек для эпитаксиальных технологий // Инженерно-физический журнал. – 2011, - Т.84, - №5, - С. С.1100-1103

УДК 621.317: 621.3.08

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МЕТОД РЕГИСТРАЦИИ ВАХ ДВУХПОЛЮСНИКОВ С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВОГО ОСЦИЛЛОГРАФА В-422

Романов И.А., Зайков В.А., Климович И.М.

Белорусский государственный университет  
Минск, Республика Беларусь

Одной из самых информативных характеристик полупроводниковых приборов (ПП), позволяющей оценивать их электрические параметры является вольт-амперная характеристика (ВАХ). С помощью ВАХ можно прогнозировать поведение ПП при различных электрических воздействиях, делать вывод о его работоспособности, идентифицировать неизвестные полупроводниковые элементы [1]. Применение современных микропроцессорных средств позволяет автоматизировать процесс снятия ВАХ, что в свою очередь дает возможность быстро определять точные параметры исследуемых ПП при минимальном участии оператора в процессе измерения.

Существует большое количество методов измерения ВАХ, которые применимы для конкретного типа ПП. Например, в работе [1] предлагается метод импульсного снятия ВАХ с устранением саморазогрева ПП, искажающего истинные ВАХ ПП.

В настоящей работе предлагается автоматизированный метод регистрации ВАХ двухполюсников, рассчитанный на широкий спектр ПП или приборных структур. Метод позволяет снимать ВАХ высокоомных и высокоемкостных ПП, может использоваться для регистрации динамических вольт-амперных характеристик, позволяет контролировать процесс формовки структур [2]. Преимуществами данного метода являются дешевизна и простота реализации.

Цифровой блок В-422, входящий в систему измерения ВАХ включает в себя двухканальный осциллограф и одноканальный генератор переменного напряжения. Генератор, реализованный на цифро-аналоговом преобразователе, позволяет формировать сигналы различной формы (гармонической, треугольной, прямоугольной) в диапазоне частот от 100 мГц до 10 кГц, и диапазоне напряжений  $\pm 10$ В. Минимальная нагрузка, допускаемая на выходе генератора 1кОм. Цифровой прибор В-422 подключается к

компьютеру через USB порт. Программа “Осциллограф” осуществляет возможность сохранения осциллограмм в текстовый файл.

На рис. 1 приведена электрическая схема установки. Принцип работы установки заключается в следующем. Переменное напряжение с генератора подается на соединенные последовательно ПП или приборную структуру и резистор R (рис. 1).

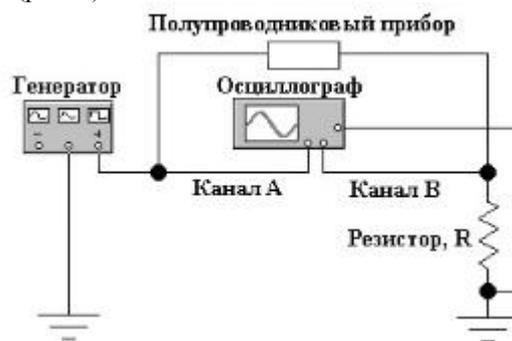


Рисунок 1 – Электрическая схема установки для снятия ВАХ ПП и приборных структур

Канал А осциллографа подключается к выходу генератора. Каналом В регистрируется напряжение на резисторе R. Для регистрации ВАХ необходимо знать ток и напряжение на ПП в текущий момент времени. Напряжение на ПП получают путем вычитания из напряжения генератора напряжения на резисторе. Ток, протекающий через ПП, определяется по величине сопротивления резистора и напряжения на нем. В результате регистрируют две зависимости тока и напряжения от времени:  $I_{pp}(t)$  и  $U_{pp}(t)$ . Путем исключения времени можно построить ВАХ ПП или приборной структуры.

Одним из недостатков метода является шумовая компонента сигнала. Усреднение осциллограмм по нескольким выборкам (периодограммам) позволяет устранить большую часть шума. Для реализации метода подают периоди-

ческий сигнал длительностью  $N$  периодов. После записи осциллограммы весь сигнал разрезается на  $N$  равных частей и усредняется. Этот метод позволяет увеличить отношение сигнал/шум в  $N$  раз. Недостатком метода является слишком длительное воздействие переменного напряжения на ПП, что приводит к его разогреву. Повышение частоты сигнала генератора помогает избежать от разогрева ПП. Однако, наличие емкости ПП на больших частотах приводит к уменьшению сопротивления ПП и появлению гистерезиса ВАХ.

Метод был апробирован на приборной структуре  $\text{ITO} / \text{SiN}_x / \text{Si-n} / \text{Al}$ , где ITO - прозрачный электрод на основе оксида индия-олова,  $\text{SiN}_x$  - нестехиометрический нитрид кремния, Si-n кремниевая подложка  $n$  типа, Al нижний алюминиевый омический контакт. Данная структура обладает большим сопротивлением и емкостью порядка 10 нФ. Сопротивление резистора (рис. 1) составляло величину 2,0 кОм. Для расширения диапазонов измерения напряжения и тока к выходу генератора подключался усилитель (не показан на рис. 1), что принципиально не изменяло электрическую схему измерений. Осциллограммы снимались при воздействии на структуру гармонического напряжения частотой 5 Гц. Шумы устранялись усреднением по 50-ти выборкам. Длительность процесса измерения (осциллограммы) составила 10 с. Измерения проводились при комнатной температуре. Нагрева полупроводниковой структуры в процессе измерений не наблюдалось. Погрешность измерений не превышала 1 %.

На рис. 2 показаны осциллограммы напряжений на приборной структуре (кривая 1) и резисторе (кривая 2) сразу после измерений.

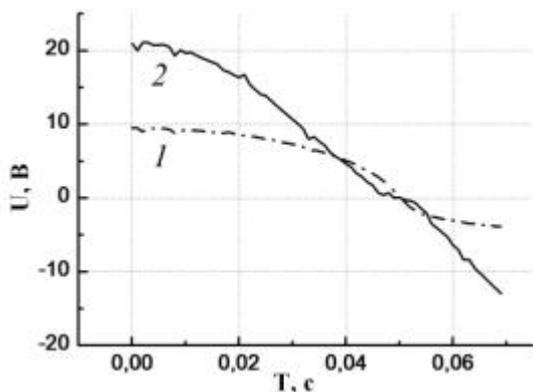


Рисунок 2 – Осциллограммы на приборной структуре  $\text{ITO} / \text{SiN}_x / \text{Si-n} / \text{Al}$  (1) и на резисторе (2)

Осциллограммы, полученные после усреднения и фильтрации, приведены на рис. 3.

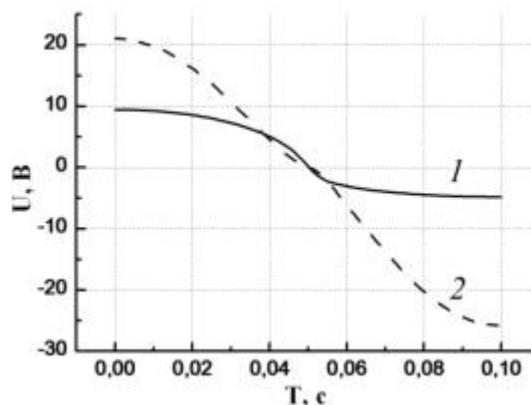


Рисунок 3 – Осциллограммы рис. 2 после усреднения и фильтрации

Для цифровой обработки осциллограмм были использованы средства Matlab, Origin Pro.

На рис. 4 представлена, полученная из данных рис. 3 путем исключения времени, ВАХ структуры  $\text{ITO} / \text{SiN}_x / \text{Si-n} / \text{Al}$ . Прямая ветвь ВАХ соответствует отрицательному потенциалу на ITO контакте относительно Al контакта.

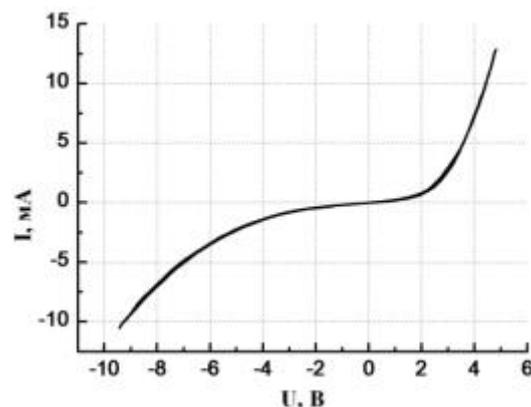


Рисунок 4 – ВАХ структуры  $\text{ITO}/\text{SiN}_x/\text{Si-n}/\text{Al}$

Представленная на рис. 4 зависимость практически совпала с результатами измерений на данной структуре, выполненными в ГЦ "Бел-микрoанализ" НПО "Интеграл" на аттестованной установке HP 4061A semiconductor/component test system.

Отметим, что при постоянном уровне шумов погрешность измерений зависит от отношения сопротивлений резистора и структуры, следовательно, целесообразно использовать резистор  $R$  с сопротивлением близким к сопротивлению структуры, но при этом следует учесть, что увеличение сопротивления резистора приводит к уменьшению диапазона прикладываемого к структуре напряжения.

Таким образом, в настоящей работе предложен и апробирован автоматизированный метод регистрации ВАХ, рассчитанный на широкий спектр ПП и приборных структур.

1. Бондаренко А.Ф. Способ автоматизированного снятия вольт-амперных характеристик полупроводниковых приборов / А.Ф. Бондаренко, Е.А. Ермоленко // Техн. электродинамика. Тем. выпуск "Проблемы современной электротехники". – 2010. – Ч. 2. – С. 126–129.
2. Дирнлей, Дж. Электрические явления в аморфных пленках окислов / Дж. Дирнлей, А. Стоунхэм, Д. Морган // Усп. Физ. наук. – 1974. – Т. 112. – Вып. 1. – С. 83–126.

УДК 621:53.08

## КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ОБРАБОТКИ ЖИДКИХ СРЕД

Воробей Р.И.<sup>1</sup>, Гусев О.К.<sup>1</sup>, Тявловский А.К.<sup>1</sup>, Тявловский К.Л.<sup>1</sup>, Свистун А.И.<sup>1</sup>, Шумский А.Э.<sup>1</sup>, Жуковский П.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Люблинский технический университет, Люблин, Республика Польша

В технологических установках обработки жидких продуктов, и использующих жидкие технологические среды для изменения свойств продукта и санитарной мойки трубопроводов и емкостей, основная информация о состоянии установки содержится в значениях концентрации растворов различных типов, их объема и температуры. Технологическая установка обработки жидких сред образована коммутируемой протяженной (до сотен метров) сетью трубопроводов и накопительных емкостей, по которым перекачиваются растворы различных типов и концентрации. В разные моменты времени по одним и тем же узлам системы могут перекачиваться растворы различных типов с заранее неопределёнными параметрами типа раствора, концентрации, температуры, состава смеси растворов нескольких типов. Результаты идентификации типа раствора и измерения его концентрации используются в системе коммутации потоков жидких сред путем управления состоянием клапанов и насосных станций. Для технологических процессов с использованием жидких сред характерна необходимость реализации контроля в реальном масштабе времени и недопустимость смешивания жидких сред разного типа и/или продукта из-за ошибок управления, что приводит к экономическим потерям, экологическим или техногенным катастрофам.

При измерении концентрации по проводимости раствора, протекающего через какой-либо узел технологической установки требуется идентифицировать тип раствора [1, 2], так как и концентрационная и температурная зависимости от проводимости существенно различаются для разных растворов (рисунок 1). Эта проблема устраняется при использовании односигнальной модели многопараметрических измерений [3] и применении особенностей потенциодинамических характеристик для электродных датчиках, и частотных характеристик жидкостного витка – для трансформаторных датчиков [4]. Однако такое решение пригодно только для контроля чистых растворов и продуктов, но не их смесей, так

как в этом случае отдельный датчик не имеет возможности определить тип формируемой смеси в ходе реакции и долю непрореагировавшего раствора.

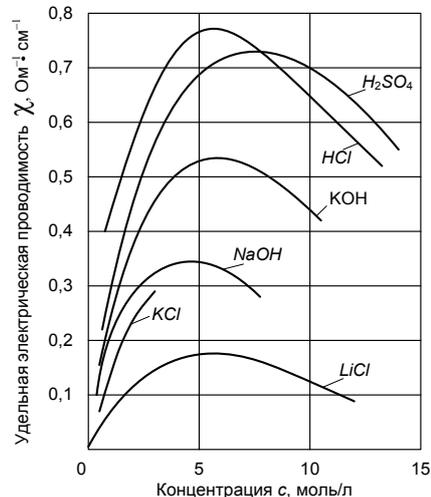


Рисунок 1 – Зависимость удельной электрической проводимости технологических растворов от их концентрации

Тем не менее, и в этом случае представляется возможным определить состояние технологической установки обработки жидких технологических сред. Система контроля установки образована рядом датчиков, установленных в базовых узлах установки, и представляет собой пространственно-распределенную информационную систему. Причем для контроля состояния установки и учета продукта, расхода реагентов и воды применяются расходомеры, а на накопительных емкостях устанавливаются дискретные и пропорциональные датчики уровня жидкости [2]. При передаче этих данных в центральный блок обработки измерительной информации это позволяет определить, например для случая смешения двух растворов в емкости, массы  $m_1$  и  $m_2$  смешиваемых реагентов  $R_1$  и  $R_2$ , собранных из разных частей технологической установки, массовые доли (концентрации) реагентов, массу  $m_3$