

М.А. Анкуда, ст. преп.;
И.О. Оробей, доц., канд. техн. наук;
В. В. Сарока, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ АВТОДИННЫЙ ДЕТЕКТОР ДЛЯ КАЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА СВОЙСТВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛЕНОК

ЯМР-спектроскопия может быть использована для неразрушающего анализа качественных характеристик при производстве полупроводниковых пленок. При анализе полупроводниковых образцов используя ЯМР-сигналы с выхода параметрического автодинного детектора можно получить следующую информацию: структурную неоднородность пленки, наличие и концентрация примесей определенных химических компонентов, диффузионные процессы, степень кристаллизации.

Различные типы примесей дают характерные ЯМР-сигналы, что позволяет идентифицировать и количественно оценить их концентрацию и валентное состояние. При этом различие в ширине или форме линии сигнала может указывать на наличие разных типов дефектов, микронапряжений в пленке, разной ориентации кристаллов, или даже на наличие межслойных структур. Измерение динамики ЯМР-сигналов позволяет проследить за диффузионными процессами атомов в пленке, что является важным для обеспечения стабильности полупроводниковой структуры. А также по изменению интенсивности ЯМР-сигналов можно судить об изменении электронного состояния примесей или носителей заряда.

С учетом возможности применения ЯМР-спектроскопии для определения качественных характеристик полупроводниковых пленок было разработано и описано устройство, позволяющее регистрировать сигналы ЯМР, с последующей их обработкой.

Структурная схема подобного ЯМР-анализатора в упрощенной форме будет иметь вид как на рис. 1.

Образец размещается внутри катушки регистрации, которая является составной частью автодина. Система катушек будет способна принимать сигнал при наличии интенсивного постоянного магнитного поля с величиной индукции не ниже 0,13 Тл. Для получения необходимого магнитного поля было предложено использовать постоянные магниты с ярмом броневого типа, между полюсов которых и размещается система регистрирующих катушек. Систему постоянных магнитов необходимо размещать таким образом, чтобы концентрация маг-

нитного потока в рабочем зазоре с исследуемым образцом достигала необходимого уровня [1].

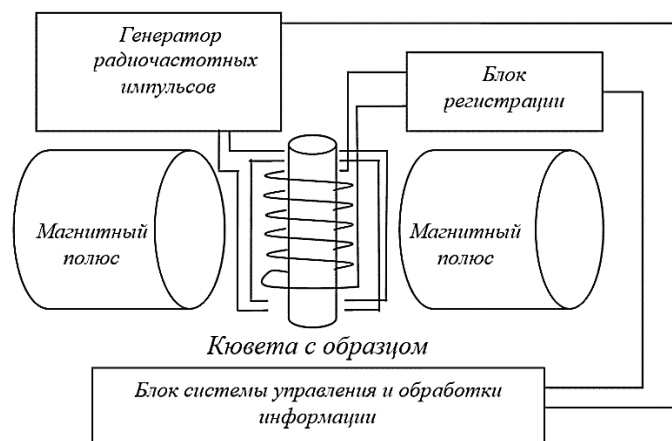


Рисунок 1 – Структурная схема ЯМР-анализатора

Выводы катушек присоединяются к платам с электронными компонентами, которые смонтированы внутри ярма магнитной системы, что позволяет уменьшить паразитные емкости и микрофонный эффект.

Под действием статического магнитного поля постоянных магнитов образец получает некоторую макроскопическую намагниченность.

Суммарный вектор намагниченности имеет то же направление, что и вектор магнитной индукции постоянного поля. Далее на обмотку подается радиочастотный сигнал, который воздействует на магнитные моменты ядер по средствам своего магнитного поля, что приводит к нутации векторов ядерной намагниченности вещества в образце.

В результате под действием вектора ядерной намагниченности в регистрирующей обмотке наводится некоторый электрический сигнал, зависящий от свойств и концентрация ядер в образце.

Любая первоначальная фиксация и обработка подобного сигнала должна проводиться аналоговыми электронными схемами.

Автодин по существу является генератор слабых высокочастотных колебаний, амплитуда которых зависит от внесённых потерь в колебательный контур за счет ядерной динамической восприимчивости образца [2]. Схема автодина с параметрическим возбуждением может быть условно разделена на несколько функциональных узлов: колебательный контур, генератор накачки и цепь обратной связи. (см. рис. 2).

В рассматриваемом генераторе в качестве переменного реактивного элемента колебательного контура используется емкость р-п перехода полупроводникового варикапа VD1; в качестве генератора накачки используется схема возведения в квадрат, которая построена на DA1.

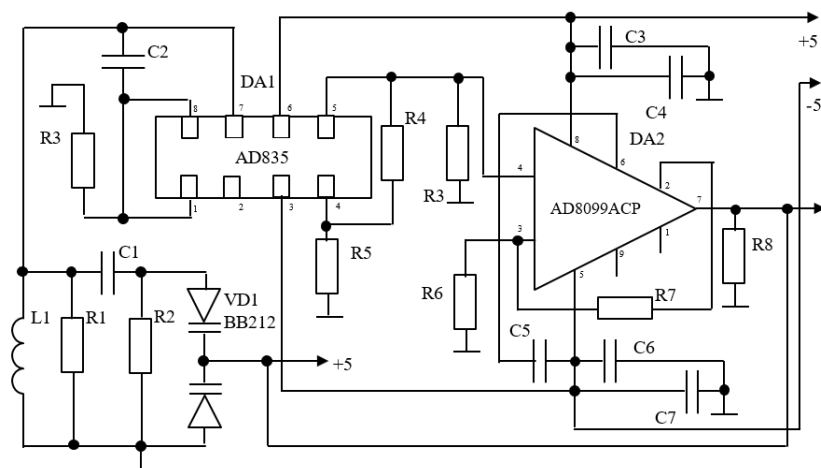


Рисунок 2 – Схема электрическая принципиальная параметрического автодина

Поскольку в качестве опорного сигнала для параметрического изменения емкости используется непосредственно сигнал колебательного контура на удвоенной частоте, которая получается с выхода схемы умножения, то тем самым обеспечивается совпадение фаз. Обратная связь реализуется через подачу сигнала после усиления на схеме DA2 на управляющий электрод варикапы VD1.

Сигнал с выхода регистрирующей катушки имеет изначальный уровень в несколько мкВ и содержит набор определенных резонансных частот, измеряемых в диапазоне от нескольких десятков до сотен МГц, то его возможное предварительное усиление и преобразование в цифровой код является бессмысленным. Поэтому после процедуры детектирования обязательным будет переход в частотную область.

Проводя спектральный анализ сигналов, которые были получены с регистрирующей катушки, можно за относительно короткие промежутки времени определять качественные характеристики образца.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оробей И. О., Сарока В. В. Первичный преобразователь импульсного ЯМР-спектрометра для систем управления // Труды БГТУ. Сер. VI. Физ.-мат. науки и информ. 2002. Вып. X. С. 136 – 138.
2. Анкуда, М. А. Модель автодина с параметрическим возбуждением / М. А. Анкуда, И. О. Оробей // Труды БГТУ. № 6. Физико-математические науки и информатика, 2016. – С. 127-131.