

УДК 53.087.6

Д.С. Новожилов, Д.О.Струков, В.Л. Дубов, Д.В. Фомин

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА
ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ СПЕКТРОВ ОЖЕ-ЭЛЕКТРОНОВ**

В статье представлены результаты разработки, тестирования и апробации в эксперименте программно-аппаратного комплекса для автоматизированной обработки спектров оже-электронов, полученных на приборе PHI-590 в лаборатории физики поверхности научно-образовательного центра.

Ключевые слова: спектры оже-электронов, самописец, конвертер сигналов, оптроны, микроконтроллер, оцифровка спектров.

**SOFTWARE-HARDWARE COMPLEX FOR AUTOMATED PROCESSING
OF THE AUGER ELECTRONS SPECTRA**

The paper presents the results of development, testing and validation experiment of hardware and software for the automated processing of the Auger electron spectra obtained on PHI-590 device in the Laboratory of Surface Physics of the Educational Center.

Key words: Auger electron spectra, the recorder, signal converter, optocouplers, microcontroller, digitization of the spectra.

Введение

В лаборатории физики поверхности НОЦ для формирования и исследования тонких пленок металлов на Si используется прибор PHI-590, оборудованный оже-электронным спектрометром. Сформированные в сверхвысоковакуумной (СВВ) камере образцы исследуются методами электронной оже-спектроскопии (ЭОС) и спектроскопии характеристических потерь энергий электронами (СХПЭЭ) [1]. Результаты таких исследований представляются в виде графиков, полученных на самописце Hewlett-Packard модели 7010А. Запечатленные на бумаге спектры требуют оцифровки для того, чтобы в дальнейшем их можно было использовать при анализе экспериментальных данных на персональном компьютере. Этот процесс трудоемок и отнимает много времени у исследователей. Для решения проблемы мы предлагаем разработанный нами программно-аппаратный комплекс.

Состав и принцип работы устройства

Для формирования графиков на самописце HP-7010А из прибора PHI-590 (модуль ESCA/AUER System Control) через разъем CENC-24M [2] подаются парные аналоговые электрические сигналы, соответствующие координатам «X», «Y» и команде «Start», как показано на рис. 1.

В качестве устройства для оцифровки аналоговых сигналов мы выбрали микроконтроллер ATmega 328 на платформе Arduino UNO.

Существует множество разных микропроцессорных платформ, для осуществления управления физическими процессами, но Arduino имеет ряд преимуществ: низкую цену, простую среду программирования вкупе с вшитым по умолчанию загрузчиком, а также множество плат расширения [3].

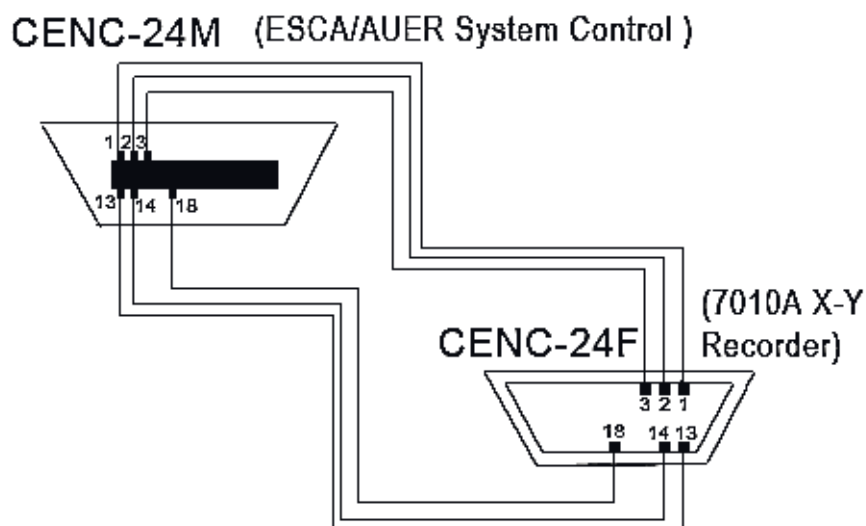


Рис. 1. Схематическое изображение разъемов, обеспечивающих подключение самописца HP-7010A к прибору РНІ-590.

Платформа Arduino предназначена для управления физическими процессами с использованием электронно-вычислительной машины с открытым программным кодом и построена на простой печатной плате с современной средой для написания программного обеспечения. Платы Arduino строятся на основе микроконтроллеров фирмы Atmel, а также элементов обвязки для программирования и интеграции с другими схемами. На платах присутствует линейный стабилизатор напряжения +5 В или +3,3 В. Тактирование осуществляется на частотах 8, 16 или 87 МГц кварцевым резонатором. В микроконтроллер предварительно прошивается загрузчик, поэтому внешний программатор не нужен [3].

Выполнение команды «Старт» для запуска самописца осуществляется путем релейного замыкания пары контактов. Измерение уровней сигналов координат, поступающих из прибора РНІ-590, показало, что сигнал для координаты «Х» линейно возрастает от -10 В до 0 В, а сигнал для координаты «У» изменяется в пределах от -5 В до -3 В. В то же время рабочее напряжение по аналоговым входам платформы Arduino, по требованию разработчиков, не должно превышать +5 В. Поэтому следующим шагом нашей работы стало создание подсистемы сопряжения разрабатываемого устройства с прибором РНІ-590. На рис. 2 показана принципиальная электрическая схема конвертера сигналов. На входе устройства для каждого сигнала был использован делитель напряжения на основе переменного резистора 100 кОм. Чтобы инвертировать сигналы, а также исключить взаимное влияние приборов друг на друга, нами были использованы транзисторные оптопары.

Традиционно оптопары широко используются для защитной гальванической развязки мало-мощных, чувствительных и дорогостоящих электронных компонентов от мощных цепей. Вдобавок оптроны великолепно подходят для сопряжения цепей с высокой разностью потенциалов общего провода, защиты цепей от высоких синфазных напряжений и подавления шумов и помех, вызванных протеканием нежелательных токов через паразитные контуры с замыканием на «землю». Оптоны также применяются для усиления сигналов, включения/выключения различных цепей и изоляции людей от потенциально опасных источников питания и токоведущих частей высокого напряжения, – например, пациентов от высоковольтных медицинских приборов. Прогресс в области технологий конструирования и изготовления оптронов открыл возможности для разработки новых специализированных типов этих устройств, расширения функциональности и совершенствования их технических характеристик [4].

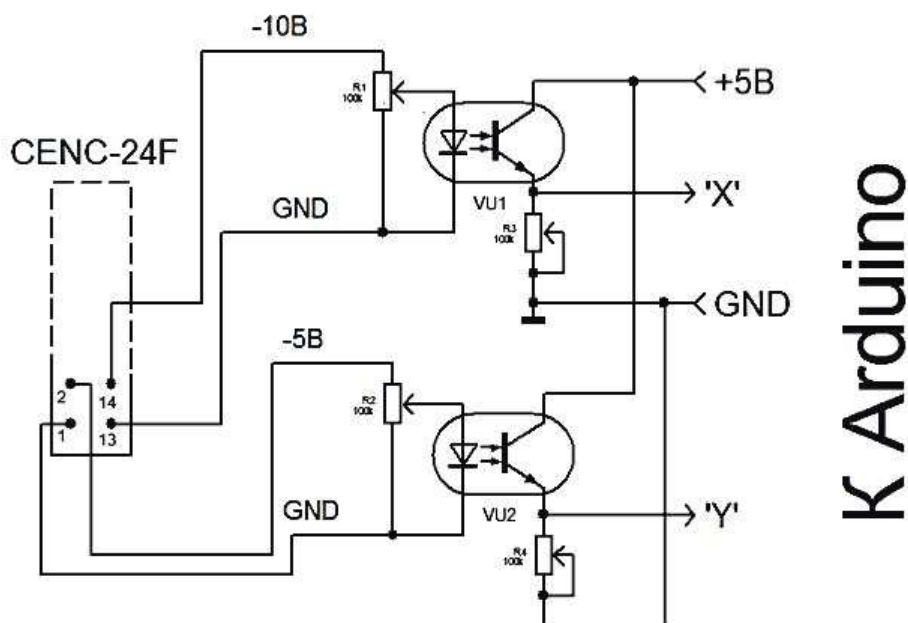


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема конвертера сигналов.

Транзисторная оптопара выполняется с фотоприемным элементом на основе фототранзистора. Как правило, в оптопарах используются фототранзисторы со структурой n-p-n на основе кремния, чувствительные к излучению с длиной волны около 1 мкм. Излучателями обычно служат арсенидогаллиевые диоды или диоды на тройном соединении, максимум спектрального излучения которых лежит вблизи области наибольшей чувствительности фототранзистора. Излучательный диод конструктивно расположен так, что большая часть света направляется на базовую область фототранзистора. Как и в других оптопарах, излучатель и приемник изолированы друг от друга оптически прозрачной средой [5].

Мы использовали подключение транзистора оптрона по схеме с общим коллектором. Коэффициент усиления по напряжению этой схемы меньше 1. Такая схема применяется для согласования каскадов либо в случае использования источника входного сигнала с высоким входным сопротивлением. Для подключения конвертера сигналов к Arduino UNO были использованы однотипные с входными делители напряжения.

Окончательный вид устройства представлен на рис. 3.

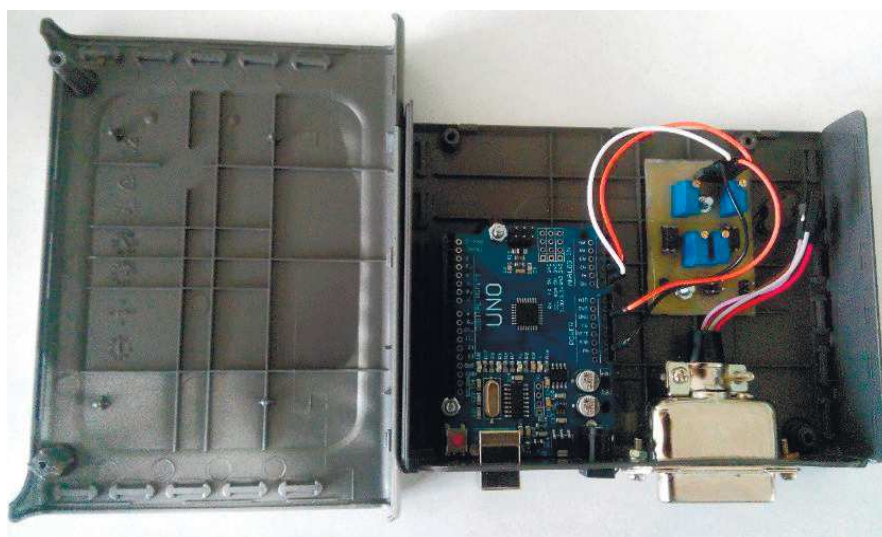


Рис. 3. Фотография устройства в корпусе.

Для тестирования устройства была использована программа, листинг которой представлен на рис. 4.

```
int analogPinX = A0;
int analogPinY = A1;
int uX, uY;
int i;
float voltX, voltY;

void setup() {
  Serial.begin(9600); // инициализируем порт, скорость 9600
  i=1;
}

void loop() {
  uX=analogRead(analogPinX); // чтение кода канала 1
  voltX = (float)uX * 5. / 1024.; // пересчет в напряжение
  uY=analogRead(analogPinY); // чтение кода канала 2
  voltY = (float)uY * 5. / 1024.; // пересчет в напряжение
  Serial.print(voltX, 0); Serial.print(" "); // вывод на монитор порта
  Serial.println(voltY, 0);
}
delay(10); // задержка на 10 мс
}
```

Рис. 4. Листинг программы-обработчика аналоговых сигналов.

Апробацию прибор прошел на этапе оценки степени высокотемпературной очистки кремниевой подложки в СВВ-камере прибора РНІ-590 [1]. На рис. 5 представлены оже-спектры, полученные на самописце НР-7010А и с помощью разработанного программно-аппаратного комплекса. При сравнении графиков после оцифровки было установлено их очевидное сходство. На обоих графиках присутствуют два обратных пика, полученные при одинаковых энергиях: первый соответствует кремнию (87 эВ), а второй – углероду (264 эВ). Анализ полученных графиков свидетельствует, что образец требует дополнительного высокотемпературного прогрева для полной очистки.

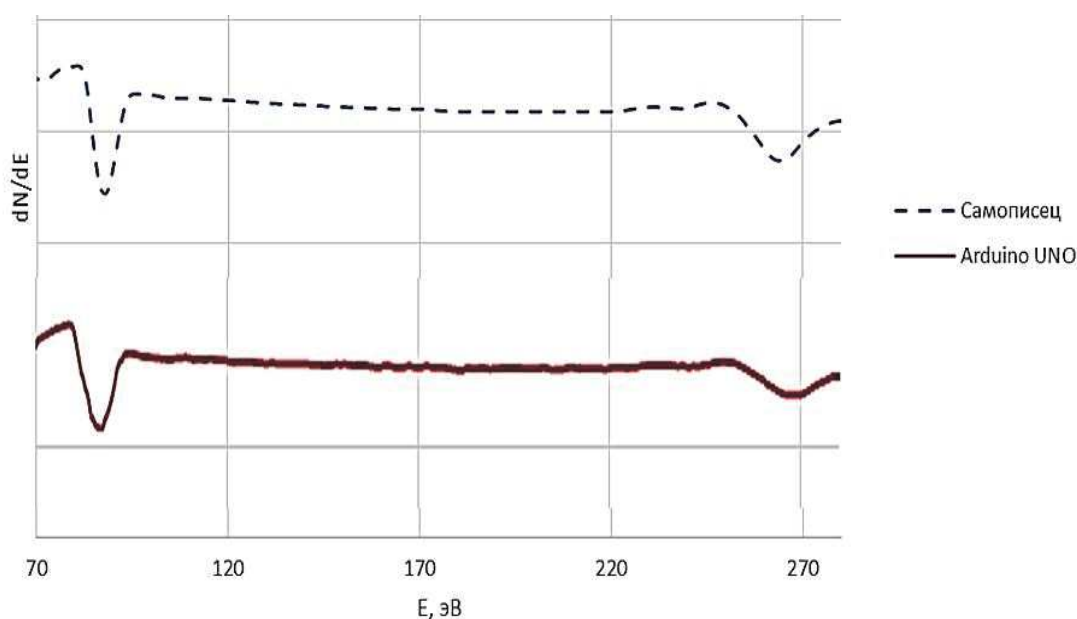


Рис. 5. Оже-спектры, полученные на самописце и с помощью разработанного программно-аппаратного комплекса на базе Arduino UNO.

Полученные результаты и их обсуждение

В итоге проделанной работы нам удалось разработать программно-аппаратный комплекс для автоматизированной обработки спектров оже-электронов. При этом были использованы решения, позволившие осуществить надежную гальваническую развязку научного оборудования с платой микроконтроллера и согласовать уровни их сигналов. Был осуществлен выбор недорогой платформы – Arduino UNO, позволившей в полной мере реализовать процесс оцифровки оже-спектров. Установлено, что разработанное устройство позволяет получить графики, идентичные графикам, построенным с помощью самописца. Дальнейшая работа будет вестись в области совершенствования программного обеспечения комплекса.

Данный программно-аппаратный комплекс может быть взят за основу при модернизации любого научного оборудования, где используются самописцы.

-
1. Фомин, Д.В. Учебно-методическое пособие по выполнению расчетно-графической работы по теме: электронная оже-спектроскопия / Д.В. Фомин, В.Л. Дубов. – М.: Директ-Медиа, 2015. – 40 с.
 2. HP 7015B Operating Service, 1979. – 103 с.
 3. Омельченко, Е.Я. Краткий обзор и перспективы применения микропроцессорной платформы Arduino / Е.Я. Омельченко, В.О. Танич, А.С. Маклаков, Е.А. Карякина // ЭС и К. – 2013. – № 21. – С. 28-33.
 4. Хан Джамшед, Н. Применение герметичных оптронов в военной и космической электронике // Компоненты и технологии. – 2010. – № 107. – С. 82-86.
 5. Иванов, В.И. Полупроводниковые оптоэлектронные приборы / В.И. Иванов, А.И. Аксенов, А.М. Юшин. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 448 с.