

УДК 53.07

Фомин Дмитрий Владимирович

Амурский государственный университет

г. Благовещенск, Россия

E-mail: e-office@yandex.ru**Струков Дмитрий Олегович**

АО «Дальневосточная распределительная сетевая компания»,

г. Благовещенск, Россия

E-mail: tokloo@yandex.ru**Поляков Алексей Вячеславович**

ПАО «Дальневосточная энергетическая компания»,

г. Благовещенск, Россия

E-mail: polyakov_a_1999@mail.ru**Fomin Dmitrii Vladimirovich**

Amur State University

Blagoveshensk, Russia

E-mail: e-office@yandex.ru**Strukov Dmitrii Olegovich**

Far Eastern Distribution Grid Company JSC,

Blagoveshensk, Russia

E-mail: tokloo@yandex.ru**Polyakov Alexey Vyacheslavovich**

Far Eastern Energy Company PJSC,

Blagoveshensk, Russia

E-mail: polyakov_a_1999@mail.ru**УСТРОЙСТВО ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ
ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ НАГРУЗКИ****DEVICE FOR AUTOMATIC SWITCHING OF LOAD POWER SOURCES**

Аннотация. В статье представлены результаты проектирования и тестирования устройства для автоматического переключения источников питания нагрузки. Нагрузка представляет кремниевую пластину, используемую в качестве подложки при проведении экспериментов по формированию тонких пленок силицидов методом твердофазной эпитаксии. Для очистки кремниевой подложки и разогрева ее используется прогрев, осуществляемый путем поочередного пропускания через подложку переменного, а затем постоянного тока. Для этого необходимо осуществлять переключение источников питания нагрузки. Представленное в статье устройство позволяет автоматизировать этот процесс, до недавнего времени выполнявшийся в лаборатории вручную. Предложенное устройство спроектировано на основе современной микроэлектронной компонентной базы. В работе приведены осциллограммы, дан анализ работы всего устройства.

Abstract. The article presents the results of designing and testing a device for automatic switching of load power sources. The load is a silicon wafer used as a substrate during experiments on the formation of thin films of silicides by solid-phase epitaxy. To clean the silicon substrate and warm it up, heat-

ing is used, carried out by alternately passing alternating and then direct currents through the substrate. To do this, it is necessary to switch the load power sources. The device presented in the article allows you to automate this process, which until recently was performed manually in the laboratory. The proposed device is designed on the basis of a modern microelectronic component base. The work presents waveforms, an analysis of the operation of the entire device is given.

Ключевые слова: автоматическое переключение, источники питания, нагрузка, оптрон, компаратор, реле, электронный ключ.

Key words: automatic switching, power supplies, load, optocoupler, comparator, relay, electronic key.

DOI: 10.22250/20730268_2022_97_54

В лаборатории физики поверхности Научно-образовательного центра АмГУ с 2007 г. проводятся эксперименты по формированию методом твердофазной эпитаксии в условиях сверхвысокого вакуума (СВВ) тонких пленок силицидов на кремнии – Ca_2Si , FeSi_2 , Ca_3Si_4 , BaSi_2 и Mg_2Si [1-3 и др.]. В качестве подложек используются кремниевые пластины размером 5x15 мм, вырезаемые из промышленных шайб типа КЭФ-100 Si(111), КДБ-100 Si(111) и пр. К подложкам применяются стандартные методы очистки поверхности, наиболее важным из которых является прогрев, осуществляемый непосредственно в СВВ-камере Varian прибора РНІ-590. В ряде экспериментов требуется нагревать кремниевую подложку непосредственно в ходе осаждения на нее металлов. Перечисленные операции требуют поочередного пропускания через подложку переменного, а затем постоянного тока. Для этого необходимо осуществлять переключение источников питания нагрузки. В состав установки, используемой для разогрева кремниевой подложки, входят ЛАТР, источник постоянного тока, лампа накаливания, выполняющая роль шунта, переключатели. До недавнего времени переключение подложки после ее пробы с источника переменного тока на источник постоянного тока осуществлялось вручную. В лаборатории уже имеется положительный опыт модернизации прибора РНІ-590 [4 и др.], поэтому было принято решение автоматизировать и данный процесс.

Состав и принцип работы

Функциональная схема спроектированного устройства автоматического переключения источников питания нагрузки представлена на рис. 1. В состав устройства входят следующие узлы: 1 – источник переменного тока (ЛАТР); 2 – источник постоянного тока, рассчитанный на максимальный ток 10 А; 3 – узел защиты от теплового пробоя нагрузки; 4 – узел коммутации; 5 – узел гальванической развязки; 6 – нагрузка; 7 и 8 – фильтр и повторитель сигнала соответственно; 9 – компаратор; 10 – электронный ключ.

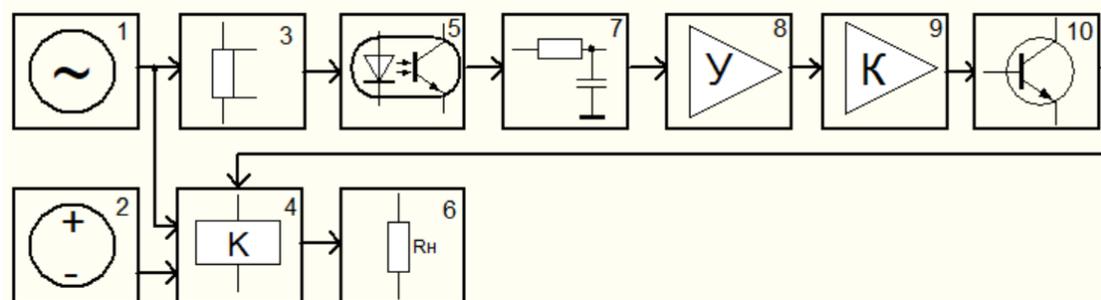


Рис. 1. Функциональная схема устройства автоматического переключения источников питания нагрузки.

Следует отметить отдельные схемотехнические решения, использованные в устройстве. Так, в узле 5 применяется гальваническая развязка, реализованная на транзисторной оптопаре. Традиционно оптопары широко используются для защитной развязки маломощных, чувствительных и дорогостоящих электронных компонентов от мощных цепей [4-6]. В данном случае гальваническая развязка отделяет силовую часть, связанную с нагрузкой, от схемы управления коммутацией источников питания.

Далее в схеме используется компаратор как надежный элемент автоматики [7,8], осуществляющий управление электронным ключом, срабатывая только по заранее установленному уровню опорного напряжения. В качестве электронного ключа применен составной биполярный транзистор, построенный по схеме Дарлингтона и нашедший широкое применение в цепях управления различных цифровых устройств [9-10]. Коммутация источников тока осуществляется с помощью малогабаритного реле, рассчитанного на большие токи нагрузки. В настоящее время такие реле широко востребованы [11-12].

На рис. 2 представлена принципиальная схема устройства автоматического переключения источников питания нагрузки.

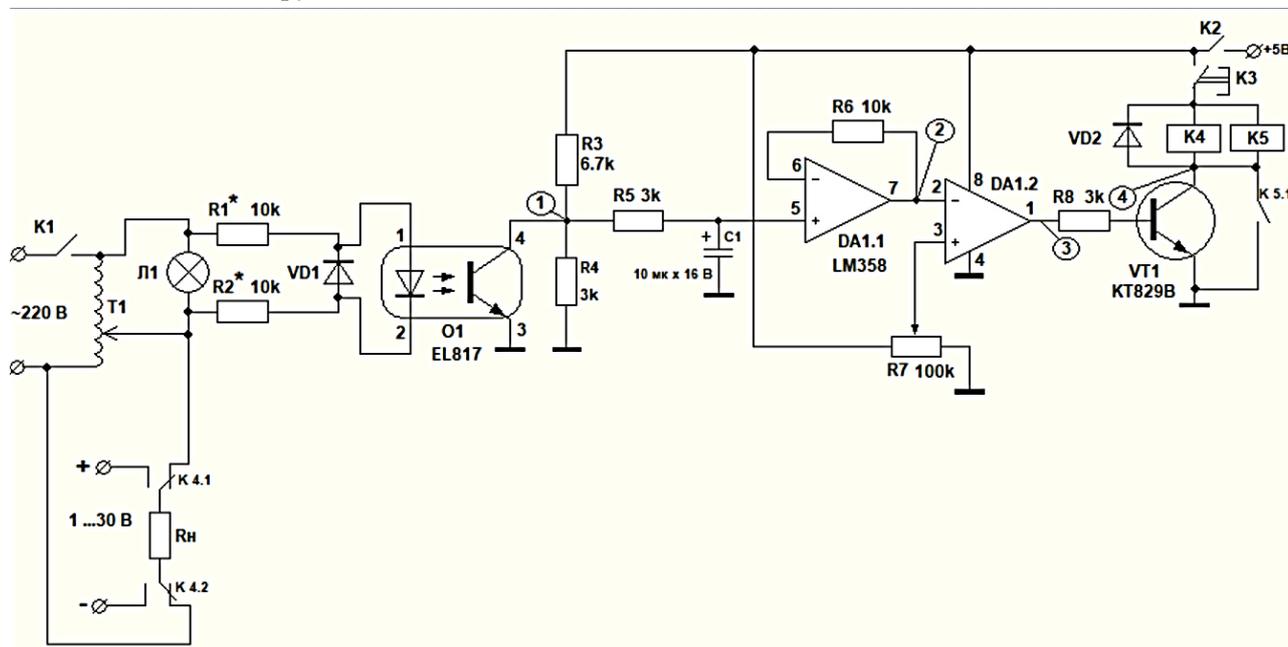


Рис. 2. Принципиальная схема устройства автоматического переключения источников питания нагрузки.

Принцип работы спроектированного и собранного устройства заключается в следующем. При замыкании ключа K2 происходит подключение питания +5В. При замыкании ключа K1 включается ЛАТР – Т1, который используется в качестве источника переменного тока нагрузки Rн. Лампа Л1 задействована как токовый шунт (предотвращает тепловой пробой нагрузки) и датчик. На изменение падения напряжения на лампе реагирует гальваническая развязка на основе оптопары O1, подключенная к лампе через токоограничивающие резисторы R1 и R2. Выпрямительный диод VD1 служит для защиты светоизлучающего диода оптопары. При достижении порогового значения падения напряжения на шунте увеличивается интенсивность свечения светодиода, что приводит к открыванию транзистора оптопары. Работа транзистора происходит в импульсном режиме. Это отчетливо видно на осциллограмме (рис.3), полученной в точке 1 принципиальной схемы данного устройства. Делителем напряжения R3, R4 задается необходимый уровень входного напряжения, а цепочкой R5,

С1 осуществляется сглаживание сигнала, поступающего на вход повторителя DA1.1, выполняющего роль элемента согласования входного сопротивления компаратора DA1.2 с предыдущей цепью. Данный процесс иллюстрирует осциллограмма (см. рис.3), снятая в точке 2 принципиальной схемы устройства. На неинвертирующем входе компаратора DA1.2 задается опорное напряжение, равное полуразности напряжений полностью закрытого транзистора оптопары и его открытого состояния. При уменьшении амплитуды входного сигнала (на инверсном входе компаратора) по отношению к амплитуде опорного напряжения компаратор DA1.2 переключается из «0» в «1», в результате срабатывает электронный ключ, реализованный на транзисторе VT1, что в свою очередь приводит к срабатыванию реле K4 и K5. Данные процессы проиллюстрированы на осциллограммах (рис.3), снятых в точке 3 и 4 принципиальной схемы устройства соответственно. При срабатывании контактов реле K4.1 и K4.2 происходит переключение нагрузки с источника переменного тока на источник постоянного тока. Реле K5 при этом шунтирует транзистор VT1, обеспечивая бесперебойную работу реле K4, что обеспечивает поддержание постоянного тока в цепи нагрузки при размыкании цепи переменного тока.

Осциллограммы, полученные при исследовании работы данного прибора, представлены на рис. 3.

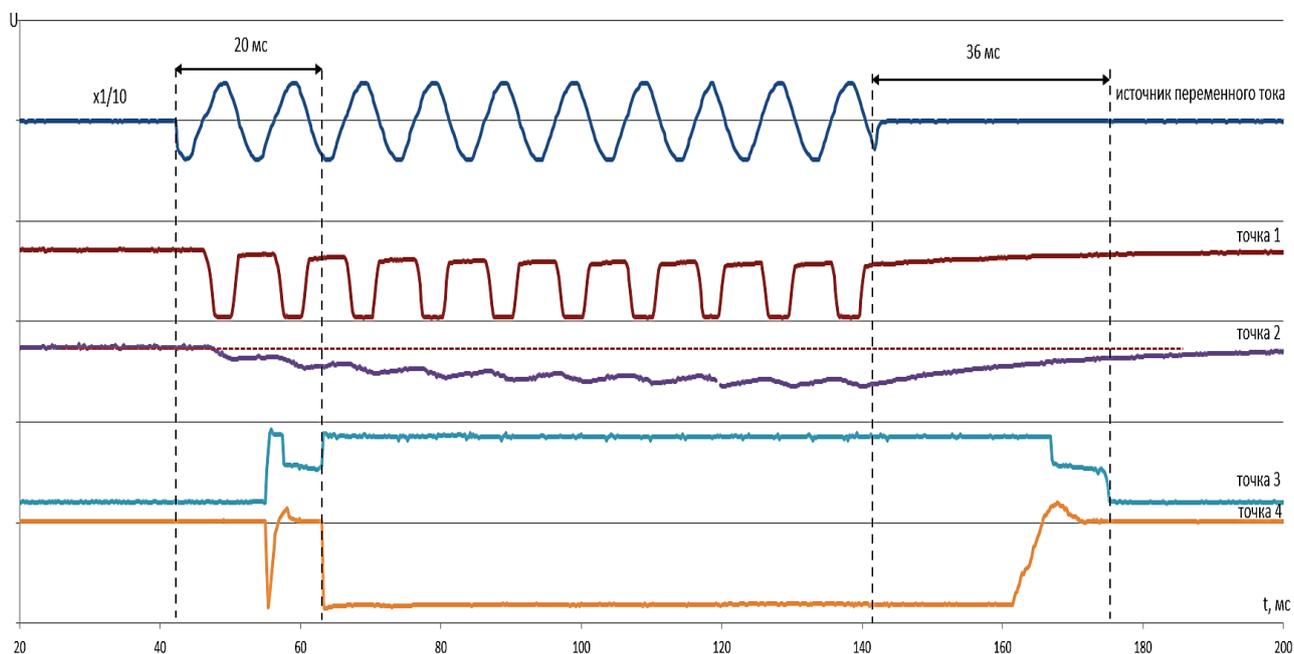


Рис. 3. Осциллограммы, полученные при исследовании работы устройства автоматического переключения источников питания нагрузки.

По данным осциллограммам установлено, что время включения устройства составляет 20 мс, а время его выключения после нажатия кнопки К3 – 36 мс.

Таким образом, авторами статьи представлено спроектированное и протестированное устройство автоматического переключения нагрузки с источника переменного тока на источник постоянного тока. Предложенное решение является оригинальным, построенным на основе современной микроэлектронной компонентной базы. В статье приведены осциллограммы и дан подробный анализ работы устройства. Установлены время включения и выключения устройства – 20 мс и 36 мс соответственно.

1. Formation and optical properties of BaSi₂ films on Si (111) – a promising nanomaterial for solar cells / Dubov, V.L., Fomin, D.V., Galkin, K.N. and Galkin, N.G. // KnE Materials Science. – Vol. 2016. – P. 46–50. DOI: 10.18502/kms.v1i1.561

2. Дубов, В. Л. BaSi₂ – перспективный материал для фотоэлектрических преобразователей / В. Л. Дубов, Д.

В. Фомин // Успехи прикладной физики. – 2016. – Т. 4, № 6. – С. 599-605.

3. An investigation of the electrical and optical properties of thin iron layers grown on the epitaxial Si(111)-(2 × 2)-Fe phase and on an Si (111) 7 × 7 surface / D. L. Goroshko, N. G. Galkin, A. S. Gouralnik [et al.] // Journal of Physics: Condensed Matter. – 2009. – Т. 21, № 43. – P. 435801. – DOI 10.1088/0953-8984/21/43/435801.

4. Разработка программно-аппаратного комплекса для автоматизированной обработки спектров оже-электронов / Д.С. Новожилов, Д.О. Струков, В.Л. Дубов, Д.В. Фомин // Вестник АмГУ, Серия «Естественные и экономические науки». – 2017. № 77. – С. 49-53.

5. Авторское свидетельство № 1765887 А1 СССР, МПК Н03К 17/78. Переключающее устройство с оптронной развязкой: № 4851803: заяв. 16.07.1990: опубл. 30.09.1992 / Ю. Д. Нетеса, В. П. Григоренко ; заяв. – Краматорский научно-исследовательский и проектно-технологический институт машиностроения.

6. Коняхин, С. Ф. Оптронные устройства гальванической развязки силовых транзисторных ключей / С. Ф. Коняхин, П. А. Свиридов // Практическая силовая электроника. – 2005. – № 4(20). – С. 40-43.

7. Патент № 2647699 С2 Российская Федерация, МПК Н03К 5/1252. Устройство для управления и защиты силового ключа: № 2016129098: заяв. 15.07.2016: опубл. 16.03.2018 / Е. Н. Варуха, Ю. В. Семенов, А. Н. Скоблицов; заяв. – ООО «Инвертор».

8. Контроль параметров тонких пленок, защитных покрытий и технологического процесса их нанесения в вакууме / Э. И. Семенов, А. В. Гусаров, С. Э. Семенова [и др.] // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2006. – № 6(18). – С. 46-56.

9. К вопросу о составном транзисторе / А. А. Селищев, К. С. Путрин // Наука сегодня: фундаментальные и прикладные исследования. Материалы международной научно-практ. конф., Вологда, 28 сентября 2016 г. – Вологда: Маркер, 2016. – С. 46.

10. 4H-SiC monolithic Darlington transistors with slight current gain drop at high collector current density / L. Yuan, Q. W. Song, X. Y. Tang [et al.] // Science China Technological Sciences. – 2018. – Vol. 61, No 8. – P. 1238-1243. – DOI 10.1007/s11431-017-9208-4.

11. Использование малогабаритных силовых реле в безопасных устройствах сопряжения компьютерных систем железнодорожной автоматики / А. Б. Никитин, А. Н. Ковкин, А. Д. Манаков // Автоматика на транспорте. – 2018. – Т. 4, № 2. – С. 264-278.

12. Study on operational characteristics of protection relay with fault current limiters in an LVDC system / L. Hyeong-Jin, K. Jae-Chul, K. Jin-Seok [et al.] // Electronics (Switzerland). – 2020. – Vol. 9, No 2. – P. 322. – DOI 10.3390/electronics9020322.