

К. ф.-м. н. Г. В. САВИЦКИЙ, к. ф.-м. н. А. Ю. БОНЧИК,  
к. ф.-м. н. И. И. ИЖНИН, д. ф.-м. н. С. Г. КИЯК,  
И. А. МОГИЛЯК, И. П. ТРОСТИНСКИЙ

Украина, г. Львов, ИПП ММ НАНУ, НПП "Карат"  
E-mail: granat@carat.lviv.ua

Дата поступления в редакцию  
15.07 2002 г.

Оппонент к. т. н. В. Г. ВЕРБИЦКИЙ  
(НИИ МП, г. Киев)

## МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТАНОВКИ ФОТОННОГО ОТЖИГА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН «ОНИКС»

*Модернизация установки фотонного отжига обеспечивает повторяемость и воспроизводимость температурно-временных циклов отжига при управлении ПЭВМ.*

Ионно-имплантированные структуры GaAs нашли широкое применение при изготовлении различных полупроводниковых приборов, в частности, СВЧ полевых транзисторов с барьером Шоттки [1]. Основные преимущества использования таких структур связаны, прежде всего, с высокой однородностью электрических параметров по площади (не хуже 1—2%), высокой повторяемостью параметров от одного технологического цикла к другому, относительной простотой процесса и высокой производительностью, что обеспечивается применением соответствующего технологического оборудования.

Однако арсенид галлия в технологическом отношении является более сложным материалом по сравнению с кремнием. При высоких температурах происходит разложение материала за счет испарения As с поверхности. Это создает дополнительные трудности при проведении послеимплантационного отжига структур и вызывает необходимость защиты поверхности при обычном термическом отжиге или использования методик импульсного отжига.

Применение импульсных источников энергии для отжига ионно-легированных структур дает ряд преимуществ по сравнению с традиционным термическим отжигом. Наиболее распространенными методами является импульсный лазерный и некогерентный (фотонный) отжиг. Главные их отличия заключаются в различной степени монохроматичности света, различной плотности потока энергии, различной длительности импульсов [2].

Механизм лазерного импульсного отжига связывается или с плавлением и последующей кристаллизацией определенного слоя материала (тепловой отжиг) [3], или с образованием электронно-дырочной плазмы высокой плотности [4]. Достаточно малое время процесса (порядка  $10^{-5}$  с) препятствует значительному перераспределению имплантированных ионов, что обуславливает образование резких профилей. Тем не менее недостатком лазерного отжига является то, что чрезвычайно высокая скорость фазовых преобразований приводит к

образованию сильно неравновесной системы, вследствие чего возникают значительные упругие деформации. Поэтому повторные термические обработки будут приводить к неконтролируемому перераспределению примесей.

При импульсном некогерентном (фотонном) отжиге, в отличие от лазерного, процесс отжига происходит в твердой фазе при сопоставимых длительностях импульсов, вследствие чего образец прогревается на всю толщину. Тем не менее, по сравнению с обычным термическим отжигом, процесс перестройки дефектной структуры проходит значительно быстрее (порядка десятка секунд), поэтому фотонный отжиг не сопровождается диффузным размыванием профиля имплантированной примеси.

Общим преимуществом для обоих типов импульсного отжига световыми потоками является высокая степень активации примесей, которая приближается к 1. Поэтому отработка технологии импульсного, в особенности фотонного, отжига является актуальной задачей в рамках разработки общего технологического процесса создания ионно-имплантированных GaAs-структур.

Учитывая малую длительность процесса и высокие скорости нарастания температуры, воспроизводимые от цикла к циклу результаты можно получить лишь при использовании автоматизированных систем фотонного отжига с компьютерным управлением. Разработка такой системы и была основной целью данной работы.

Установка фотонного отжига "Оникс" предназначена для кратковременного отжига полупроводниковых пластин диаметром до 76 мм. Отжиг происходит в вакууме (до  $10^{-2}$  мм рт. ст.) или в защитной проточной атмосфере (штатный режим) гелия, аргона, азота (или смеси двух газов). Импульсный нагрев внутреннего объема рабочей камеры с держателем пластин происходит с помощью галогенных ламп мощностью 1 кВт, установленных по десять с каждой стороны камеры (общая мощность 20 кВт). Камера охлаждается проточной водой.

Для обеспечения программного управления процессом отжига пластин на установке "Оникс" была разработана и изготовлена специальная система на базе IBM совместимого компьютера.

Система состоит из измерительного блока с выносными входными преобразователями (ХА-термо-

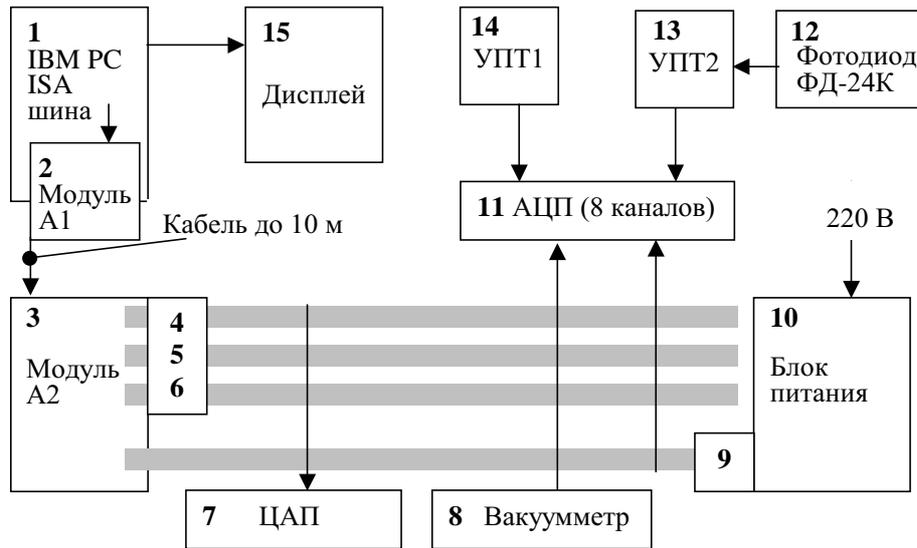


Рис. 1. Блок-схема системы компьютерного управления установкой отжига

пара с термостатированным холодным спаем и фотодиод) и управляется компьютером 1 (рис. 1). Результаты работы и виртуальная панель управления отображаются на экране дисплея 15.

В состав измерительного блока входят функционально законченные модули, собранные на печатных платах размерами 140×150 мм: модуль двенадцатиразрядного восьмиканального аналого-цифрового преобразователя 11, к входам которого подключены усилитель постоянного тока 14 для измерения э. д. с. ХА-термопары, усилитель постоянного тока 13 для усиления сигнала фотоприемника 12; модули цифроаналогового преобразователя 7 для управления фазоимпульсным тиристорным регулятором мощности; вакуумметр 8. Все модули имеют разные фиксированные базовые адреса и управляются командами от компьютера по общим восьмиразрядным шинам адресов 4, данных 5 и команд 6 (RD, WR, RESET), которые формируются интерфейсным модулем 3. Необходимые напряжения питания поступают по общим шинам 9 от блока 10.

Интерфейс между компьютером и измерительным блоком организован с помощью двух модулей 2 и 3, один из которых (A1) вставляется в свободный слот ISA шины компьютера, а второй (A2) — в один из слотов расширения измерительного блока [5]. Модули A1 и A2 соединяются кабелем длиной до 10 м и образуют двунаправленный восьмиразрядный оптически развязанный параллельный канал обмена с максимальной скоростью передачи 200 кбайт/с. За платой интерфейсного модуля A1 в IBM PC зарезервированы адреса 340HEX—34bHEX. Обращение по адресу 340HEX формирует в схеме A2 адрес функционального модуля на адресной шине 4 измерительного блока. Правильность этой операции можно проконтролировать чтением по адресу 341HEX. По адресу 342HEX происходит обмен данными по шине данных 5, состояние которой можно проконтролировать чтением по адресу 343HEX.

В схеме интерфейса дополнительно введен программируемый таймер типа 580ВИ53 (базовый адрес 348HEX) для временной синхронизации различных стадий процесса отжига и измерения времени с

достаточной разделяющей способностью и формирование аппаратного запроса на прерывание по линии IRQ10.

Аппаратная часть разработанной системы обеспечивает:

- режим плавного управления мощностью светового потока галогенных ламп с помощью тиристорного фазоимпульсного регулятора;
- измерение температуры графитового держателя с пластиной с помощью калиброванной термопары с термостатированными холодными концами и с предварительным усилителем постоянного тока.
- измерение уровня светового потока в рабочей камере с помощью фотодиода ФД-24К;
- временную синхронизацию процессов измерения температуры и регулирования мощности ламп (дискретность измерений —  $10^4$ /с, разделяющая способность — 12 разрядов);
- контроль состояния систем установки (вакуум, наличие воды, проток газа, блокировки и другое).

Управление процессом отжига может быть организовано по двум различным алгоритмам. В первом варианте управляющая программа с интервалом 0,01 с вычисляет ожидаемое значение температуры графитового держателя с отжигаемой пластиной в соответствии с заданным температурно-временным режимом отжига (рис. 2). Информация о

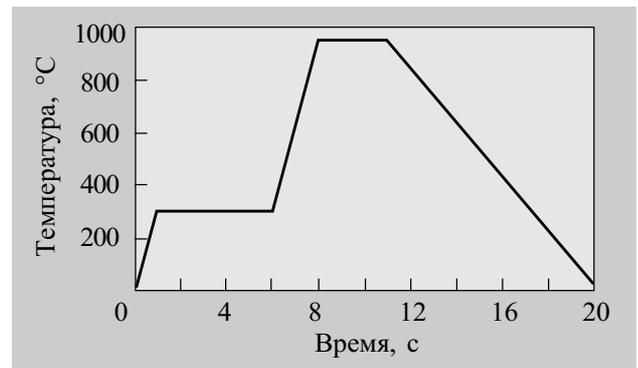


Рис. 2. Пример температурно-временной диаграммы процесса фотонного отжига GaAs ионно-имплантированной структуры

реальной температуре держателя вводится в компьютер по каналу "X-термопара — предварительный усилитель УПТ1 — АЦП" и сравнивается с вычисленным значением задания. Разница этих величин определяет уровень постоянного напряжения на выходе ЦАП, сигнал с которого поступает на фазоимпульсный тиристорный регулятор светового потока галогенных ламп. Пропорционально-интегро-дифференциальный закон управления мощностью фотонного нагревателя формируется программно, исходя из реальных динамических характеристик рабочей камеры установки "Оникс".

Во втором случае реализуется отжиг калиброванным световым импульсом. При этом программно изменяется и стабилизируется мощность фотонного нагревателя, уровень которой измеряется с помощью фотодиода, УПТ2 и АЦП, а реальная температура держателя просто контролируется каналом термопары.

Управляющая программа позволяет формировать температурно-временную диаграмму процесса отжига пластин по заданной с точностью установления времени ~0,01 с при характерном времени отжига до 100 с и температуре отжига до 1000°C с визуальным контролем временного хода задания и реальной температуры держателя на экране дисплея. Результаты конкретного эксперимента могут быть сохранены на жестком диске (HDD) и использованы в дальнейших процессах как эталонные.

\*\*\*

Проведенная модернизация установки импульсно-фотонного отжига "Оникс" позволяет с высокой

точностью и воспроизводимостью реализовывать необходимые температурно-временные режимы импульсного отжига полупроводниковых пластин, в частности, в процессе серийного производства ионно-имплантированных GaAs-структур для изготовления на их основе микроэлектронных приборов. Кроме того, установка позволяет производить прецизионный отжиг контактов при изготовлении исследовательских образцов.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Hunsperger R. G., Hirsch N. GaAs field-effect transistors with ion implanted channels // Electron. Lett.— 1973.— Vol. 9, N 25.— P. 577–578.

2. Готра З. Ю., Осередько С. А., Бобицкий Я. В. Импульсный лазерный отжиг ионно-имплантированных полупроводниковых материалов // Зарубежная электронная техника.— 1983.— № 6.— С. 3–48.

3. Wood R. P., Giles G. E. Macroscopic theory of pulsed laser annealing. 1. Thermal transport and melting // Phys. Rev. (B).— 1981.— Vol. 23, N 6.— P. 923–927.

4. Wantelet H., Van Vechten J. A. Carrier diffusion in semiconductor subject to large gradients of excited carrier density // Ibid.— 1981.— Vol. 23, N 10.— P. 5551–5557.

5. Бончик О. Ю., Іжнін І. І., Кияк С. Г. та ін. Автоматизований комплекс для дослідження електрофізичних властивостей напівпровідникових матеріалів // Зб. наук. праць Фізико-механічного ін-ту ім. Г. В. Карпенка НАНУ, Сер. "Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів".— 2002.— Вип. 7.— С. 235–240.

## РЕКОМЕНДАЦИИ АВТОРАМ

## ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

### ПО ПОДГОТОВКЕ РУКОПИСИ\*

10. Рукопись и иллюстрации к ней должны быть удобочитаемы.

**Фотоиллюстрации** необходимо представлять **в оригинале**. При подготовке цветных иллюстраций желательно фотографировать объекты на однотонном фоне. Размеры фотографии не должны превышать формат 210×297 мм.

11. Рукопись может сопровождаться рекомендацией научно-технического (ученого) совета предприятия, на котором она подготовлена. Это будет свидетельствовать о ее предварительной апробации.

12. Предприятие может воспользоваться публикацией рукописи для рекламы своих возможностей. Тогда

рукопись необходимо сопроводить соответствующим рекламным текстом.

13. К рукописи приложите электронную версию статьи на дискете. Текст подготовьте в текстовом редакторе Microsoft Word. Текст статьи набирается размером 12 без переносов с интервалом не менее 1,5. Все слова внутри абзаца разделяются только одним пробелом. Правый край текста выравнивать не обязательно.

**Крайне нежелательно** использование редактора Equation **при наборе текста** (он допустим только для набора сложных формул). Если возможностей Word недостаточно, допускается разметка рукописи вручную.

Иллюстрации должны быть представлены **отдельными**

**файлами** в любом из форматов PCX, JPG, TIF, WMF, CDR. Графики и чертежи следует выполнять **в черно-белом (битовом) режиме**.

Электронную версию статьи можно направить по e-mail: **tkea@odessa.net**

14. Снабдите рукопись публикуемыми сведениями об авторах (фамилия, имя, отчество, ученая степень), а также сообщите служебные и домашние адреса с указанием почтового индекса, сведения о должностном положении, e-mail, телефоны, телефаксы для связи, даты рождения.

15. Если есть ощущение, что могут возникнуть вопросы охраны государственной тайны, сопроводите статью экспертным заключением о возможности ее публикации в открытой печати.

\*Окончание. Начало на стр.37