

Исследования проводили на электронном микроскопе JEOL 2100. Образцы утончали для ЭМ-исследований методом травления ионами аргона с энергией 6 кэВ на установке Gatan Precision Ion Polishing System. Предварительно с помощью установки Gatan Dimple Grinder осуществлялось прецизионное механическое утончение центральной части образца диаметром 3 мм до толщины порядка 30 мкм.

Установлено, что сверхструктура содержит большое число прорастающих в эпитаксиальный слой дислокаций и наклонных под углом  $55^\circ$  к поверхности гетерограницы микродвойников, лежащих в плоскостях {111}. Использование в качестве буферного слоя  $\text{Cd}_{0,96}\text{Zn}_{0,04}\text{Te}$  позволяет уменьшить плотность структурных дефектов в сверхструктуре  $\text{Cd}_{0,92}\text{Zn}_{0,08}\text{Te}:\text{CdTe}$ .

Yu. Yu. Loginov

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, Russia, Krasnoyarsk

A. V. Mozzherin

Siberian Federal University, Russia, Krasnoyarsk

### ELECTRON MICROSCOPY STUDY OF SOLAR CELLS HETEROEPITAXIAL NANOSTRUCTURES

*Epitaxial {001}Cd<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>Te: CdTe/Cd<sub>y</sub>Zn<sub>1-y</sub>Te heterostructures grown by molecular beam epitaxy on the {001}GaAs substrate using high-resolution electron microscopy were investigated.*

© Логинов Ю. Ю., Мозжерин А. В., 2009

УДК 535.4

С. А. Лященко, О. П. Вайтузин, Г. А. Александрова, Е. П. Березицкая

Сибирский государственный аэрокосмический университет  
имени академика М. Ф. Решетнева, Россия, Красноярск

С. Н. Варнаков

Институт физики имени Л. В. Киренского Сибирского отделения  
Российской академии наук, Россия, Красноярск

### МЕТОД СПЕКТРАЛЬНОЙ ЭЛЛИПСОМЕТРИИ ПРИ ЭЛЕМЕНТНО-ГРАДИЕНТНОМ СКАНИРОВАНИИ ПОВЕРХНОСТИ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ С ЭПИТАКСИАЛЬНЫМ СЛОЕМ ЖЕЛЕЗА\*

*При исследовании методом спектральной эллипсометрии подложки Si(100) с пленкой Fe обнаружено, что для данной системы нельзя применять стандартную оптическую модель тонких однородных пленок с резкими границами раздела. Показана целесообразность разработки алгоритма для градиентного сканирования поверхности объекта исследования и реализации данного алгоритма в программном пакете.*

Создание тонких эпитаксиальных пленок металла, диэлектрика или полупроводника с минимальным числом дефектов на кремниевой подложке – это путь к созданию электронных элементов с высокими эксплуатационными характеристиками, такими как малое время задержки элементов интегральных схем, высокий КПД солнечных батарей, однородность электрических изоляторов и защитных покрытий.

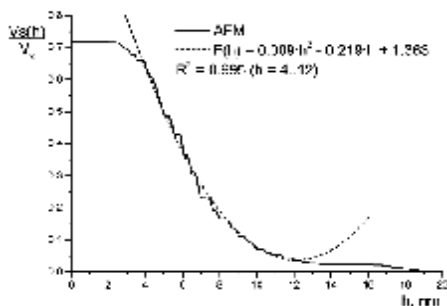
После нанесения пленочных структур в вакууме необходимо определять как качество самой поверх-

ности, так и характеристики получаемых структур, в том числе толщину, структуру, концентрацию отдельных компонент в слое. Существуют многочисленные методы определения свойств поверхностных структур [1], например, оптические методы основаны на исследовании коэффициентов отражения и экстинкции, фазовых сдвигов, вносимых присутствием пленки, угловых зависимостей этих сдвигов и т. п. Одним из таких методов, активно развивающимся в последние годы, является метод спектральной эллипсометрии [2].

\* Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 07-03-00320), АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 годы)» (код проекта РНП.2.1.1.4399), программы ОФН РАН № 4, программы Президиума РАН № 27, интеграционного проекта СО РАН – ДВО РАН № 22 и федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы».

Оптические характеристики исследуемых структур находятся посредством номограмм, построенных по результатам решения прямой задачи эллипсометрии [2].

В данной работе производился графоаналитический метод решения обратной задачи по определению толщины пленки Fe на очищенной поверхности подложки монокристаллического Si с кристаллографической ориентацией (100). Измерения эллипсометрических параметров осуществлены на установке быстродействующего спектрального эллипсометра с использованием программного комплекса Spectr. Данные снимались в четырехзонном режиме [2] при угле падения света  $70^\circ$ . Получены спектральные зависимости углов  $\Psi$  и  $\Delta$ . Напыление железа производилось в сверхвысоком вакууме при температуре подложки  $650^\circ\text{C}$  в течение 10 мин при скорости осаждения  $0,03 \text{ \AA}/\text{с}$ . Эллипсометрические измерения производились на воздухе. Полученные зависимости углов  $\Psi$  и  $\Delta$  по оптимизированной стандартной оптической модели Si (однородная полубесконечная среда) – Fe (однородная пленка с резкими границами раздела сред) в максимальном приближении к экспериментальным данным [3] показали высокое различие оптических параметров. Расхождение экспериментальной кривой с оптимизированной модельной зависимостью составило для толщины Fe  $171 \text{ \AA}$  – по углу  $\Psi$  31,6 %, по  $\Delta$  2,5 %. Отметим, что технологическое значение толщины пленки составляет  $20 \text{ \AA}$ .



Градиент пористости от толщины по данным АСМ и параболическая аппроксимация в диапазоне от 4 до 12 нм

При анализе условий проведения эксперимента были сделаны три предположения:

- 1) поверхность образца имеет шероховатость в виде островковых образований;
- 2) структура окисляется на воздухе с образованием группы оксидов FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и SiO<sub>2</sub>;
- 3) в процессе напыления железа на поверхность кремния возможно протекание химических реакций между Fe и Si с образованием силицидов железа.

Данные предположения нашли свое подтверждение при исследовании структуры методами дифракции отраженных быстрых электронов и зондовой микроскопии. В частности, по данным атомно-силовой микроскопии (см. рисунок) была выявлена квадратичная зависимость в градиенте пористости, что свидетельствует о наличии прямых граней у зерен пористого вещества.

Таким образом, для выбора адекватной оптической модели необходимо учесть следующее: градацию суммы компонентов по толщине, наличие оксидов и силицидов, функциональную зависимость от толщины для каждого компонента. Учитывая все вышесказанное, была разработана программа для реализации всех перечисленных факторов на эффективной модели реальной структуры. Алгоритм находится в стадии тестирования и доработки на режим автоматической подгонки параметров структуры. Данная программа по своим возможностям значительно превосходит свои стандартные аналоги.

### Библиографический список

1. Вудраф, Д. Современные методы исследования поверхности / Д. Вудраф, Т. Делчер. М. : Мир, 1989.
2. Аззам, Р. Эллипсометрия и поляризованный свет : пер. с англ. / Р. Аззам, Н. Башара. М. : Мир, 1981.
3. Скалецкая, И. Е. Введение в прикладную эллипсометрию : учеб. пособие : в 2 ч. Ч. 2. Свойства решений ОУЭ для однородных слоев / И. Е. Скалецкая. СПб. : СПбГУИТМО, 2007.

S. A. Lyaschenko, O. P. Vaituzin, G. A. Alexandrova, E. P. Berezitskaya

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, Russia, Krasnoyarsk

S. N. Varnakov

L. V. Kirensky Institute of Physics, Russian Academy of Science,  
Siberian Branch, Russia, Krasnoyarsk

### THE ELEMENTARY-GRADIENT SCANNING OF IRON EPITAXIAL LAYER ON MONOCRYSTAL SILICON SURFACE BY SPECTRAL ELLIPSONOMETRY

The Fe layer on Si(100) substrate was investigated by spectral ellipsometry. The standard optical model of thin homogeneous films with a sharp interface for this system can't be used. It is necessary to develop an algorithm of the object surface gradient scanning.

© Лященко С. А., Варнаков С. Н., Вайтузин О. П., Александрова Г. А., Березицкая Е. П. 2009