

## **КРИСТАЛЛОФИЗИКА**

УДК 548.5

### **ПОЛУЧЕНИЕ И МИКРОАНАЛИЗ ГЕТЕРОСТРУКТУР ТИПА Ge/Te**

А. И. Иванова, А. М. Иванов, Г. С. Блохина,  
И. Г. Самборский, Ю. М. Смирнов  
Тверской государственный университет  
*Кафедра прикладной физики*

Методами вакуумного напыления на монокристаллические подложки германия и кремния экспериментально получены гетероструктуры типа Ge/Te. Элементный состав полученных образцов определен методами рентгеновского микроанализа.

**Ключевые слова:** *технология полупроводников, гетероструктуры, интеркалирование, дислокационная структура, теллурид германия*

**Введение.** Развитие физики и технологии полупроводниковых гетероструктур привело к их широкому использованию в электронных устройствах (телекоммуникационных системах, основанных на лазерах с двойной гетероструктурой, гетероструктурных диодах и биполярных транзисторах, малощумных транзисторах с высокой подвижностью электронов и т.п.) [1].

В состав полупроводниковых гетероструктур входят элементы II–VI групп (Zn, Cd, Hg, Al, Ga, In, Si, Ge, P, As, Sb, S, Se, Te), соединения  $A^{III}B^V$  и их твердые растворы, а также соединения  $A^{II}B^{VI}$ .

Для изготовления гетероструктур важно согласование (близость значений) параметров кристаллической решетки двух контактирующих соединений (веществ). Если слои соединений с сильно различающимися постоянными решетки выращиваются друг на друге, то при увеличении их толщины на границе раздела появляются большие деформации и возникают дислокации. Прорыв в создании тонкослойных гетероструктур произошел с появлением технологии роста тонких слоев методами молекулярно-лучевой эпитаксии, химического осаждения из паров металлоорганических соединений и жидкофазной эпитаксии. Появилась возможность выращивать гетероструктуры с очень резкими границами раздела, расположенными настолько близко друг к другу, что в промежутке между ними определяющую роль играют размерные квантовые эффекты [2].

Синтез слоистых структур целесообразно осуществлять с использованием способа интеркалирования. Его существом является введение атомов или их комплексов в формирующиеся в процессе роста слоистые структуры [3].

**Методика эксперимента.** В работе исследовались гетероструктуры типа Ge/Te. Теллурид германия (GeTe) является вырожденным сегнетоэлектриком-полупроводником с узкой запрещённой зоной ( $\sim 0,1$  эВ). Теллурид германия и сплавы на его основе активно применяются в термоэлементах, используемых для интервала температур 500...900 К, в фотоприёмниках, а также для оптических покрытий в интерференционных системах [4].

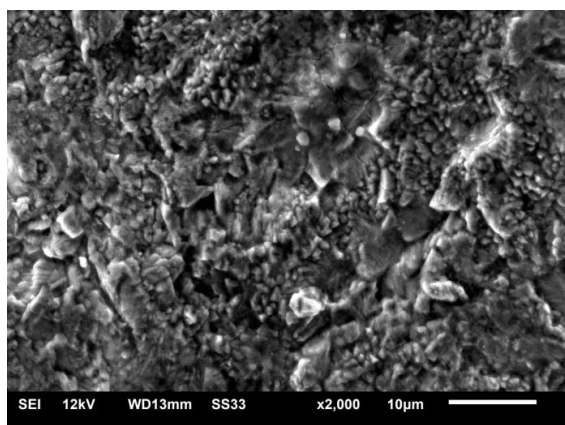
Проведена серия экспериментов с целью получения гетероструктуры типа Ge/Te. Эксперименты проводились на вакуумных установках ВУП-5М и ВУП-4М в вакууме  $\sim 10^{-4}$  мм. рт.ст.

В первом случае в качестве подложки был использован полированный монокристалл германия. Распыление теллура осуществлялось термическим путём из лодочки, изготовленной из тугоплавкого вольфрама. Образец находился на расстоянии 100 мм от нагревателя. Температура нагревателя во время процесса напыления пленки на подложку составляла 700 °С. Температура подложки составляла 30 °С. Испарение производилось в течение 100 с. После нанесения пленки образец оставался в вакууме в течение 10 минут. Распределение конденсата на поверхности зависит от формы испарителя и подложки, а также от расположения испарителя относительно подложки.

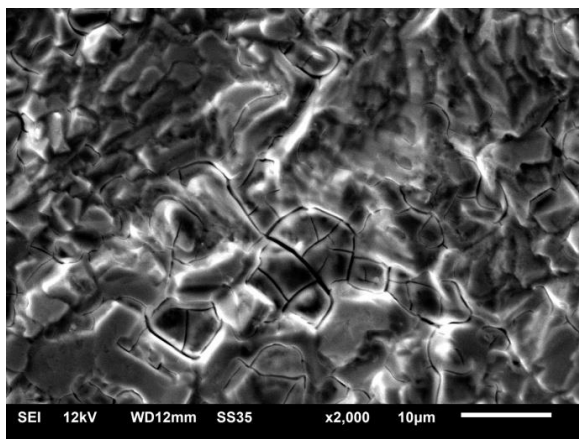
Во втором случае подложкой служил полированный диск из монокристаллического кремния (срез (111) диаметром 8 и толщиной 2 мм. Эксперимент проходил в несколько этапов: предварительное прокачивание подложки в вакууме при 800 °С в течение 2 мин.; понижение температуры до 500 °С; распыление Ge в течение 2 мин. при температуре лодочки примерно 1500 °С; охлаждение образца до комнатной температуры при выключении нагрева; замена лодочки с Ge на лодочку с Te; откачка воздуха до достижения вакуума  $10^{-4}$  мм. рт. ст.; разогрев образца до температуры 500 °С в течение 10 минут; распыление теллура в течение 15 с при температуре лодочки  $\sim 800$  °С; выдержка образца при 500 °С в течение 10 минут; выключение нагрева и охлаждение образца до комнатной температуры. Контроль процесса – визуальный, контроль температуры подложки – термомпарой ВУПа.

Полученные гетероструктуры исследовались методами растровой электронной микроскопии (JEOL JSM-6610LV) и рентгеновского энергодисперсионного микроанализа (Oxford INCA Energy –350).

**Полученные результаты.** Микроструктура образцов плёнок Ge/Te, полученных методом термического напыления на установках ВУП-5М и ВУП-4М, представлена на рис.1 и рис.2. Наблюдения проводились на растровом электронном микроскопе в режиме вторичных электронов при одних и тех же значениях ускоряющего напряжения и рабочих расстояний WD.

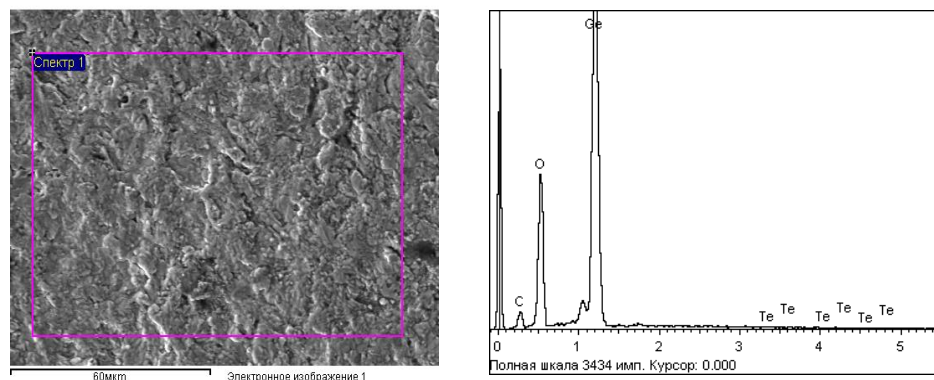


Р и с . 1 . Микроструктура плёнки Ge/Te, полученной на установке ВУП 5М

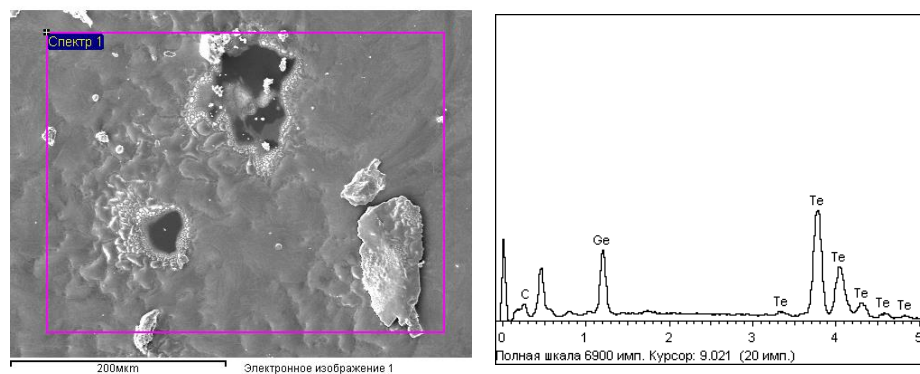


Р и с . 2 . Микроструктура плёнки Ge/Te, полученной на установке ВУП-5М

Результаты спектрального микроанализа элементного состава полученных гетероструктур представлены на рис. 3 – 5.



Р и с . 3. Спектральный анализ гетероструктуры Ge/Te, полученной на установке ВУП-5М. Область анализа выделена прямоугольной рамкой



Р и с .4. Спектральный анализ гетероструктуры Ge/Te, полученной на установке ВУП-4М (участок 1)

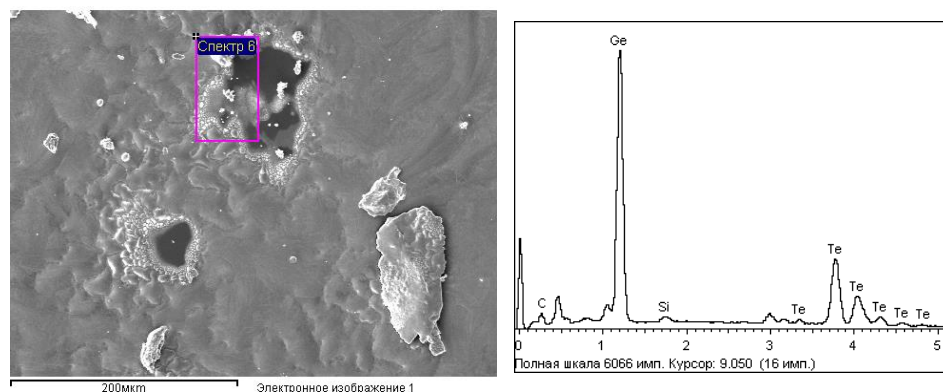


Рис.5. Спектральный анализ гетероструктуры Ge/Te, полученной на установке ВУП-4М (участок 2)

Анализ полученных данных показал, что в первом случае количественное содержание теллура значительно меньше, чем во втором. Для создания необходимого слоя теллура на подложке следует доработать методику эксперимента, меняя количественные и временные параметры распыляемого вещества.

**Заключение.** В работе были проделаны пробные эксперименты по получению гетероструктур типа Ge/Te методами вакуумного напыления на монокристаллические подложки. Методами РЭМ и энергодисперсионного анализа установлены различия в химическом составе полученных структур и их отклонения от заданных условий. Дальнейшие исследования должны быть направлены на доработку и усовершенствование процесса препарирования путём вариаций температуры подложек и режимов напыления.

### Список литературы

1. Алферов Ж.И. Двойные гетероструктуры: концепции и применения в физике, электронике и технологии // УФН. 2002. Т. 172, №9. С. 1072–1086.
2. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. — М.: Физматлит, 2007. -416 с.
3. Товстюк К.Д. Полупроводниковое материаловедение. Киев: Наукова Думка, 1984. – 264 с.

4. Смирнов Ю.М. Фазовые переходы в теллуриде германия // Вестник ТвГУ. Серия "Физика". 2010. Выпуск 10. С. 36-40.

**PREPARATION AND MICROANALYSIS OF Ge/Te  
HETEROSTRUCTURES**

A. I. Ivanova, A. M. Ivanov, G. S. Blokhina, I.G. Samborsky,  
Yu. M. Smirnov  
Tver State University  
*Chair of Applied Physics*

Ge/Te heterostructures were prepared using the technology of vacuum evaporation onto monocrystalline germanium and silicon substrates. Element composition of the prepared samples was determined with the aid of X-ray microanalysis. Recommendations are given on the improvement of the preparation procedure.

**Keywords:** *semiconductor technology, heterostructures, intercalation, dislocation structure, germanium telluride.*

**Об авторах:**

ИВАНОВА Александра Ивановна – старший преподаватель кафедры прикладной физики, ведущий инженер кафедры прикладной физики Тверского государственного университета; *email:* alex.ivanova33@yandex.ru;

ИВАНОВ Алексей Михайлович – инженер кафедры прикладной физики Тверского государственного университета;

БЛОХИНА Галина Степановна – инженер кафедры прикладной физики Тверского государственного университета; *email:* [gal4323@yandex.ru](mailto:gal4323@yandex.ru);

САМБОРСКИЙ Игорь Геннадьевич – старший преподаватель кафедры прикладной физики Тверского государственного университета;

СМИРНОВ Юрий Мстиславович – доктор технических наук, профессор, Тверского государственного университета *email:* [yurii.smirnoff@tversu.ru](mailto:yurii.smirnoff@tversu.ru).