

СТРУКТУРНЫЕ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЛОЕВ ПОЛИ-Ge ПОСЛЕ ИМПЛАНТАЦИИ И ПОСЛЕДУЮЩЕГО ОТЖИГА

В. А. Зайков¹, П. И. Гайдук¹, А. Г. Новиков¹, С. Л. Прокопьев¹,
О. Ю. Наливайко², Е. Н. Пшеничный²

¹Белорусский государственный университет, zaikov@bsu.by;

²УП «Завод полупроводниковых приборов», dzsto3@integral.by

ВВЕДЕНИЕ

Применение SiGe сплавов с высоким содержанием Ge позволяет разрабатывать фотоприемники ближнего ИК диапазона, интегрированные в кремниевую технологию [1]. Для формирования слоев Ge широко используются методы химического осаждения из газовой фазы (ХОГФ), в частности химические реакции пиролиза моногермана (GeH_4) в температурном диапазоне от 350 до 600 °С. [2]. В зависимости от температуры осаждения образуются аморфные, поликристаллические с включением аморфной фазы или полностью поликристаллические слои Ge [3]. В настоящей работе представлены результаты исследования структурных свойств слоев поли-Ge, выращенных методом ХОГФ. Исследованы электрофизические свойства Ge/Si структур после легирования ионами бора B^+ и P^+ и последующего отжига.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Осаждение поликристаллических Ge слоев проводилось в изотермической зоне горизонтального реактора пониженного давления с горячими стенками «Изотрон 4-150». В экспериментах использовалась газовая смесь, состоящая из моногермана и водорода (GeH_4 - 40 % / H_2 - 60 %). Температура осаждения варьировалась в диапазоне от 470 °С до 600 °С. В качестве подложек использовали пластины кремния марки КЭФ-4,5; КЭФ-20 и КОФ-90 с ориентацией (100). Толщина слоя Ge изменялась от 270 нм до 330 нм. Методика формирования Ge слоев представлена в работе «Оптические свойства слоев поли-Ge на кремнии, полученных методом химического осаждения из газовой фазы» (см. доклад в настоящем сборнике).

Легирование полученных структур проводилось ионами бора B^+ и P^+ . Ионы бора имплантировались при энергии $E = 20$ кэВ и дозе $D = 10^{14}$ ат/см². Ионы фосфора имплантировались при энергии $E = 100$ кэВ и дозах $D = 10^{16}$ ат/см² и $D = 8 \cdot 10^{16}$ ат/см². Концентрационный максимум исходного профиля легирования был локализован на глубине 90-110 нм. Полученные структуры отжигались в атмосфере сухого азота в диапазоне температур от 160 до 900 °С.

Исследования структурно-фазового состава образцов проводились методами просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) в планарной геометрии с использованием микроскопа ЭМ-125 при ускоряющем напряжении 100 кВ. Измерения электрофизических свойств образцов после термического отжига выполнялись четырехзондовым методом.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 представлены ПЭМ микрофотографии структуры со слоем Ge, полученной методами ХОГФ при 470 °С, 500 °С, 600 °С. ПЭМ микрофотография рис. 1а, демонстрирует мелкокристаллическую структуру слоя Ge со средним размером зе-

рен порядка 30 - 40 нм. Соответствующая картина ПЭД (вставка рис. 1а), также показывает мелкокристаллическую структуру слоя Ge с присутствием аморфной фазы.

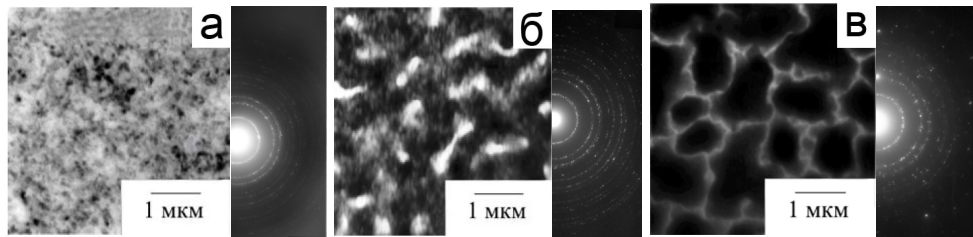


Рис. 1. ПЭМ микрофотографии структур со слоями поли-Ge, выращенных методом ХОГФ при температурах: 470 °С (а), 500 °С (б), 600 °С (в).
Вставки: ПЭД микрофотографии соответствующих структур

На микрофотографиях рис. 1б и 1в видно, что средний размер зерна по сравнению с рис. 1а резко увеличивается, и для температур осаждения 500 °С и 600 °С средний размер зерна соответственно равен 600–650 нм и 800–850 нм. Следовательно, в диапазоне температур осаждения от 470 до 500 °С происходит существенное изменение в размере зерна (не менее, чем в 12 раз) и морфологии пленки Ge. Аморфная фаза исчезает, и пленка становится полностью поликристаллической.

При этом средний размер зерна в пленке, осажденной при 600 °С примерно в 1,2 раза больше, чем в пленке, осажденной при 500 °С. Соответствующие картины ПЭД, как показано на вставках в рис. 1б и рис. 1в, в свидетельствуют о поликристаллической фазе слоев Ge при температуре осаждения большей, чем 500 °С.

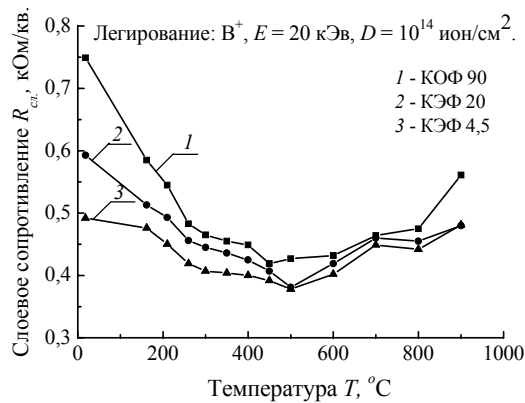


Рис. 2. Зависимость слоевого сопротивления R_{cl} , легированных ионами B^+ структур Ge/Si, от температуры отжига. Температура осаждения слоя Ge 500 °С

На рис. 2 показана зависимость слоевого сопротивления легированных бором структур со слоями Ge от температуры отжига для трех типов подложки.

Зависимость носит немонотонный характер. Максимальная активация примеси происходит при температуре отжига примерно равной 500 °С. Можно предположить, что в диапазоне температур от 550 °С до 900 °С увеличение сопротивления связано с процессами сегрегации примеси как на границе раздела, так и на границах кристаллита.

На рис. 3 показана зависимость слоевого сопротивления легированных фосфором структур Ge/Si, осажденных при температуре 500 °С, от температуры отжига для двух доз легирования. Т. к. Si-подложка была *n*-типа проводимости, то мы имеем изотипный (*n*⁺–*n*) гетеропереход Ge/Si. До температуры отжига 300 °С наблюдается рост слоевого сопротивления, вероятно связанный с сегрегацией фосфора на границах кристаллитов. В диапазоне температур от 350 до 550 °С происходит активация легирующей примеси – фосфора.

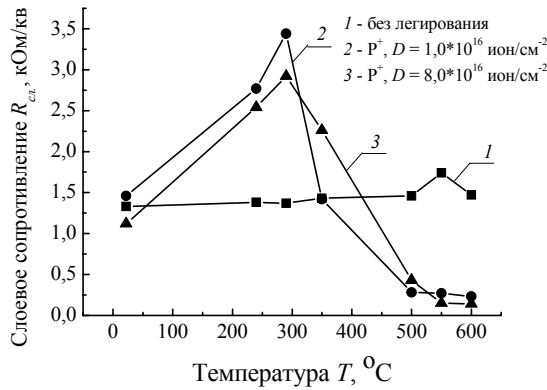


Рис. 3. Зависимость слоевого сопротивления $R_{сл.}$, кОм/кв, легированных ионами P⁺ структур Ge/Si, от температуры отжига. $E = 100$ кэВ. Подложка: КЭФ 4,5. Температура осаждения слоя Ge 500 °С

изотипный (*n*⁺–*n*) гетеропереход Ge/Si. До температуры отжига 300 °С наблюдается рост слоевого сопротивления, вероятно связанный с сегрегацией фосфора на границах кристаллитов. В диапазоне температур от 350 до 550 °С происходит активация легирующей примеси – фосфора.

Таким образом установлено, что слои Ge, осажденные методом химического осаждения из газовой фазы при температуре большей, чем 500 °С являются поликристаллическими. Активация легирующих донорной (В⁺) и акцепторной (Р⁺) примесей в поликристаллических слоях Ge происходит при температуре 450 °С и 550 °С соответственно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Samavedam S., Currie M., Langdo T., Fitzgerald E. // Appl. Phys. Lett. 1998. V. 73. P. 2125.
2. Murota J., Ono S. // Jap. J. Appl. Phys. 1994. V. 33. P.2290.
3. Bandaru P. R., Sahni S., Yablonovitch E. // Material Science and Engineering. 2004. V. B 113. P. 79.