Исследование структурных модификаций композитных слоев с Ge нанокластерами оптическими методами

Азаров И.А.^{1,2}, Астанкова К.Н.¹, Горохов Е.Б.¹, Володин В.А.^{1,2}, Гаврилова Т.А.¹

¹ ИФП СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, 13

² Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2

DOI 10.34077/Semicond2019-87

В работе изучается композитный материал – гетерослои $\text{GeO}_2\{\text{Ge-НК}\}$, состоящие из матрицы диэлектрика GeO_2 с внедренными в нее нанокластерами (НК) Ge. Гетерослои $\text{GeO}_2\{\text{Ge-НК}\}$ получали путем осаждения пересыщенных паров GeO с последующим распадом твердого монооксида германия в проточном реакторе. Структурные модификации гетерослоев $\text{GeO}_2\{\text{Ge-НК}\}$ (напр. лазерные обработки, отжиг и т.д.) радикально преобразуют их электрон-фононную подсистему, порождая различные эффекты: резонансное комбинационное рассеяние света, возникновение ФЛ при комнатной температуре. Одной из таких модификаций гетерослоев $\text{GeO}_2\{\text{Ge-НК}\}$ было вытравливание матрицы GeO_2 в деионизованной воде или плавиковой кислоте (HF). При этом освободившиеся Ge-НК агломерируют, формируя на подложке высокопористое покрытие. Тонкие (до 200 нм) и толстые (400–1500 нм) гетерослои $\text{GeO}_2\{\text{Ge-НК}\}$ исследовали до и после травления, применяя спектроскопию комбинационного рассеяния света (КРС), сканирующую и спектральную эллипсометрию, сканирующую электронную микроскопию (СЭМ).

По данным КРС-спектроскопии размеры Ge нанокристаллов после удаления матрицы GeO_2 уменьшались с 6–7 нм до 4–5 нм за счет окисления на воздухе. Сканирующая эллипсометрия позволила определить оптические константы гетерослоев $\text{GeO}_2\{\text{Ge-НК}\}$, которые были постоянны как в латеральном направлении, так и вглубь плёнки при существенном изменении толщины плёнки от 0 до 1500 нм. После вытравливания матрицы GeO_2 происходило резкое снижение показателей преломления и поглощения в тонких слоях. Степень усадки толщины гетерослоя $\text{GeO}_2\{\text{Ge-НК}\}$ после травления достигала 20 – 30 % на разных участках пленки. При хранении на воздухе толщина сформированного слоя аморфного пористого Ge в течение 2 суток увеличилась на 1–10 %. Используя данные спектральной эллипсометрии и расчеты оптических констант по модели Бруггемана, была определена пористость слоев, состоящих из аморфных или кристаллических нанокластеров Ge и воздушных пор. Степень пористости составила 70 – 80 %.

На основе данных эллипсометрии, КРС-спектроскопии, электронной микроскопии сложилось представление, что при травлении тонких гетерослоев $\text{GeO}_2\{\text{Ge-НК}\}$ (до 200 нм) образуется сплошной каркас из Ge наночастиц. При вытравливании матрицы GeO_2 из толстого гетерослоя $\text{GeO}_2\{\text{Ge-НК}\}$ (до 500 нм) за счет выхода внутренних механических напряжений, запускается процесс трещинообразования в пленке. Поверхность сформированных участков пленки представляла собой неупорядоченный массив Ge наночастиц, тогда как в ее объеме образуются вертикально упорядоченные цепочки из нанокристаллов германия (рис. 1). Механизм образования подобных цепочек пока не ясен, но они представляют большой интерес для современной фотоники.

Рис.1. – СЭМ-изображение поверхности и поперечного среза толстых (до 500 нм) гетерослоев $\text{GeO}_2\{\text{Ge-НК}\}$ после вытравливания матрицы GeO_2 .