

ЛАЗЕРНЫЙ ОТЖИГ И КОМБИНАЦИОННОЕ РАССЕЯНИЕ СВЕТА В УЛЬТРАТОНКИХ ПЛЕНКАХ КРЕМНИЯ НА ПЛАВЛЕНОМ КВАРЦЕ

В.С. Горелик, Ф.А. Пудонин, В.Б. Стопачинский, Т.Ф. Файзуллов

Исследованы спектры комбинационного рассеяния от пленок кремния на плавленом кварце толщиной 6 и 60 нм, полученных методом катодного распыления и подвергнутых лазерному отжигу. Сделан вывод о кристаллической структуре таких пленок.

Пленки кремния на различных кристаллических подложках обычно выращиваются методами молекулярно-лучевой или газовой эпитаксии [1]. Вследствие несоответствия периодов кристаллической решетки пленки и подложки в процессе выращивания в пленке возникают напряжения (сжатия или растяжения), что проявляется в спектрах комбинационного рассеяния (КР) в виде сдвига частоты основной линии КР [2,3]. Возникновение таких напряжений ограничивает круг допустимых подложек, на которых оказывается возможным эпитаксиальное выращивание пленок кремния в равновесных условиях.

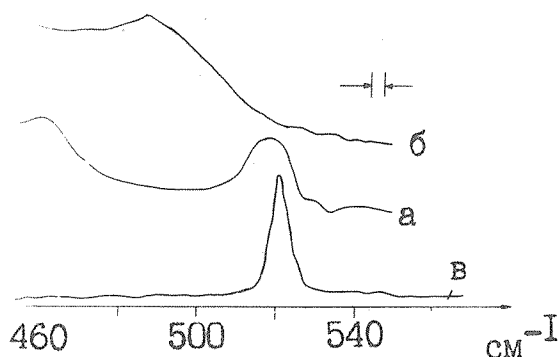
В настоящей работе методом КР исследованы пленки кремния предельно малой толщины при их выращивании в неравновесных условиях на подложках из плавленого кварца. На первом этапе осуществлялось катодное распыление кремния с целью получения тонких аморфных пленок, на втором — лазерный отжиг этих пленок с использованием излучения второй гармоники лазера YAG:Nd^{3+} с энергией в импульсе 0,2 Дж и длительностью импульса 10 нс, а также лазера на парах меди, работавшего в квазинепрерывном режиме с частотой следования импульсов 10^4 Гц. Излучение лазера на парах меди жестко фокусировалось на поверхность кремниевой пленки в пятно диаметром 30 мкм, которое сканировалось по образцу.

Спектры КР возбуждались с помощью лазера на парах меди ($\lambda = 510,6$ нм), излучение которого фокусировалось на образец в пятно площадью около $0,2$ мм². При средней мощности лазера 0,5 Вт изменений на поверхности пленки под действием излучения не обнаружено. Спектры КР регистрировались на спектрометре ДФС-24 с использованием системы счета фотонов и многоканального анализатора NTA-1024 для накопления сигнала. Общее время накопления составляло 4 с на канал; по окончании регистрации спектры сглаживались по 25-и точкам с помощью цифрового фильтра Савицкого — Голея.

На рис. 1 (кривая б) приведен спектр КР аморфного кремния. Здесь не обнаруживается максимума в области 520 см⁻¹, соответствующей частоте оптического фотона, проявляющегося в спектрах КР кристаллического кремния. Кривая а соответствует спектру КР пленки кремния толщиной 6 нм, подвергнутой отжигу излучением лазера на парах меди, и получена после вычитания спектра КР плавленого кварца. Здесь обнаруживается довольно широкий (~ 15 см⁻¹) максимум с частотой 518 см⁻¹. В случае монокристалла кремния (кривая в) в спектре КР имеется резкий пик с частотой 522 см⁻¹, соответствующий длинноволновому оптическому колебанию кристаллической решетки кремния.

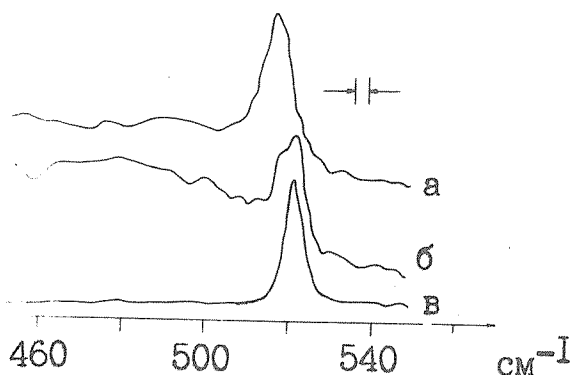
На рис. 2 (кривые а,б) показаны спектры КР пленки толщиной 60 нм, подвергнутой отжигу излучением лазера YAG:Nd^{3+} . Эти спектры были получены от двух различных участков пленки, отличающихся интенсивностями облучения при отжиге (центр лазерного пятна и его периферия). В обоих случаях на фоне широкой зоны плотности фононных состояний, присутствующей из-за рассеяния в кварцевой подложке, проявляется максимум в области 520 см⁻¹, соответствующий длинноволновому оптическому фону кристаллического кремния. Для сравнения на рис. 2 приведен спектр КР монокристаллического образца (кривая в).

Выполненные эксперименты позволяют сделать вывод о том, что в результате катодного распыления и последующего лазерного отжига ультратонких пленок кремния на плавленном кварце образуются пленки кристаллической структуры. Это подтверждается характерными для кристалла отличиями спектров КР на рис. 1 (кривая а) и рис. 2 (кривые а, б) от спектра, соответствующего аморфной фазе вещества (рис. 1, кривая б). Наличие сдвига частоты линии КР в полученных пленках в сторону меньших частот по сравнению с монокристаллом свидетельствует, по-видимому, о наличии в этих пленках растягивающих напряжений. Оценим величину напряжений, исходя из измеренного значения сдвига частоты



Р и с. 1. Спектр КР пленки кремния толщиной 6 нм на кварцевой подложке в области лазерного отжига (а); б – спектр аморфного кремния; в – спектр монокристалла кремния.

Р и с. 2. Спектры КР пленки кремния толщиной 60 нм на кварцевой подложке: а – в области лазерного отжига с относительно меньшей плотностью мощности; б – то же, с относительно большей плотностью мощности; в – спектр монокристалла кремния.



КР $\Delta = 4 \text{ см}^{-1}$. При этом, в соответствии с расчетами, выполненными в работе [2], величина деформации решетки кремния $|\eta| = \Delta/0,85\nu_0 = 9 \cdot 10^{-3}$. Поскольку модуль упругости для кремния $B = 2,29 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$, получаем значение напряжения $\sigma = B\eta \sim 10^9 \text{ Н/м}^2$.

Как видно из рис. 1 и 2, ширина линии КР в пленках оказывается в 2 ÷ 3 раза больше соответствующей ширины в монокристаллах кремния. Этот факт свидетельствует о сильном затухании оптического фонона в ультратонкой пленке, что может быть связано как с проявлением граничных эффектов, так и с существованием дополнительных дефектов (дислокаций, пор и т. п.) в выращенных пленках.

Выполненные эксперименты показывают, что в условиях лазерного отжига кристаллическая фаза в ультратонких пленках может быть получена даже в случае их осаждения на аморфную подложку. Представляет интерес проведение аналогичных исследований для других типов подложек, существенно отличающихся по своей кристаллической структуре от кремния.

Авторы благодарны П.Г.Крюкову, М.П.Фролову, В.В.Золотареву и К.И.Земскову за проведение лазерного отжига образцов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Эпитаксиальные кремниевые слои на диэлектрических подложках и приборы на их основе. Под ред. Мелинина А.Ю. М., Энергия, 1979.
2. Горелик В. С. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 6, 18 (1984).
3. Englert T., Abstreiter G., Pontcharre T. Solid State Electronics, 23, 31 (1980).

Поступила в редакцию 31 октября 1985 г.