

ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ ЭКСПОЗИЦИИ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА
НА ФОРМИРОВАНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК
ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ

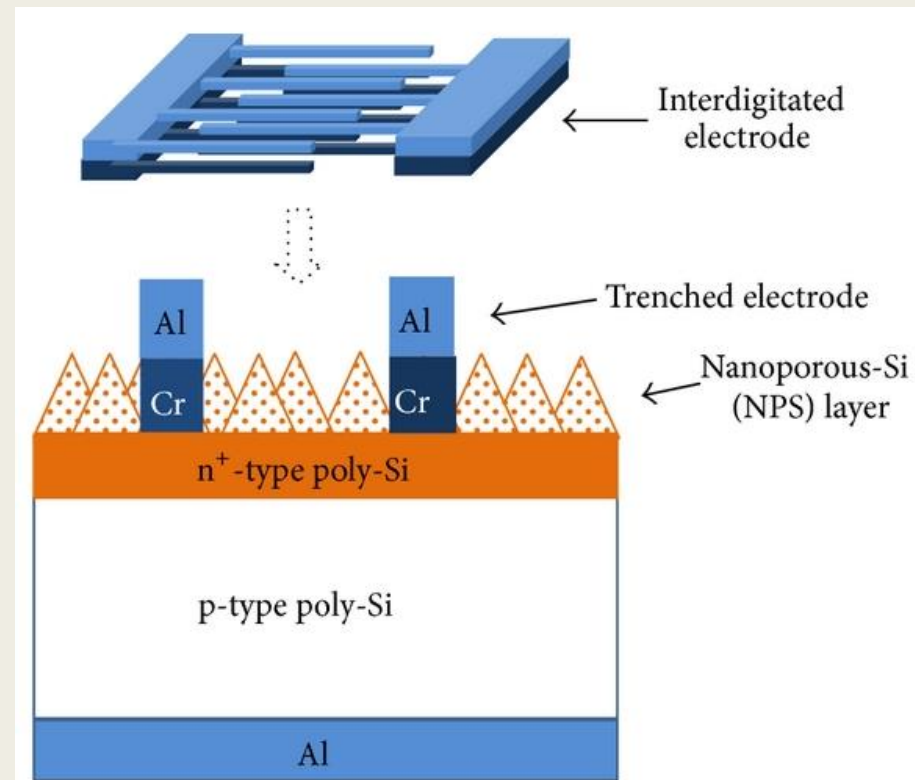
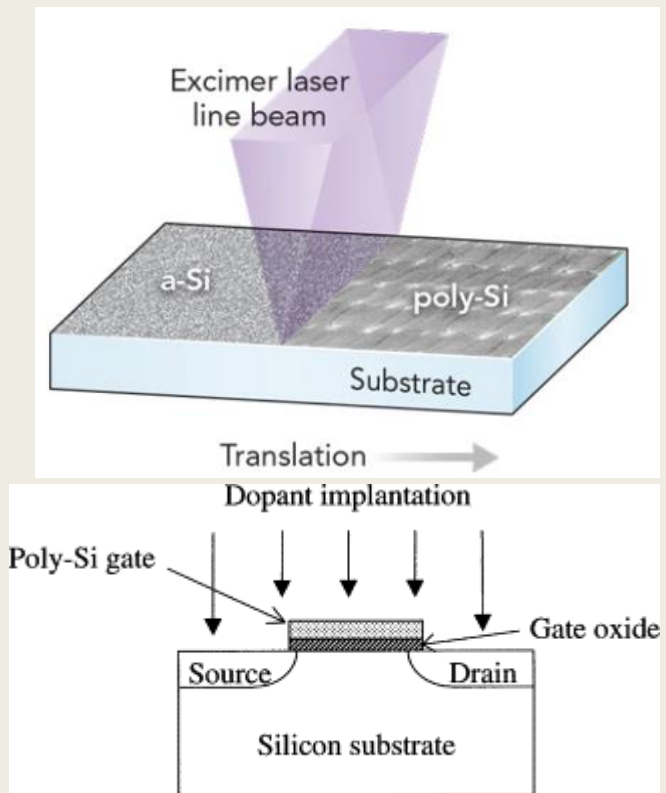
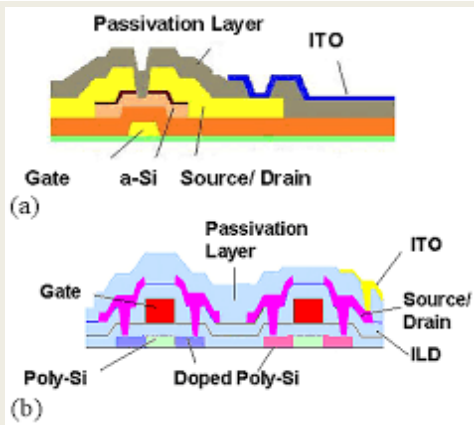
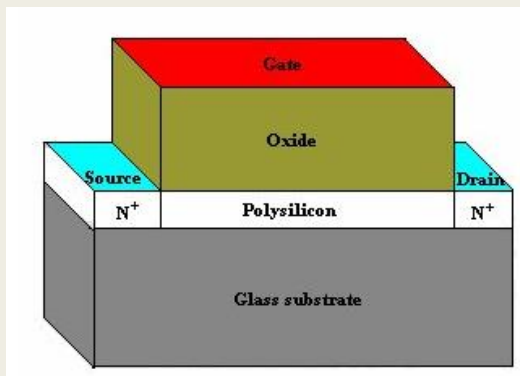
Ирина Меркулова, Александр Замчий, Виктор Константинов, Евгений Баранов

Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск

itpmerkulova@gmail.com

Актуальность поликристаллического кремния

Тонкие пленки поликристаллического кремния (poly-Si) широко используются в дисплеях с активной матрицей, и кроме того, имеют высокие перспективы применения в современных солнечных элементах и тонкопленочных транзисторах на гибких подложках.



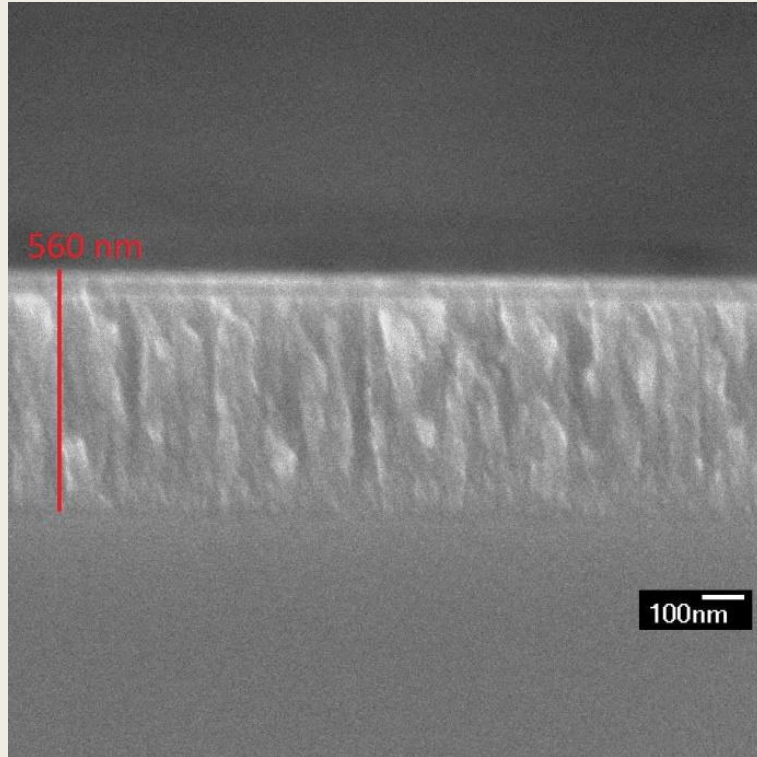
Цель работы

Цель данной работы это проведение электронно-пучкового отжига тонких пленок аморфного гидрогенизированного субоксида кремния ($a\text{-SiO}_x\text{:H}$) в зависимости от времени экспозиции электронного пучка и получение пленок поликристаллического кремния (poly-Si) на стеклянных подложках.

Синтез тонких пленок аморфного гидрогенизированного субоксида кремния ($a\text{-SiO}_x\text{:H}$)

Для проведения экспериментов по электронно-пучковому отжигу, были получены образцы с тонкими пленками аморфного гидрогенизированного субоксида кремния ($a\text{-SiO}_x\text{:H}$) на кварцевых и кремниевых подложках, размером 12 на 18 mm. Тонкие пленки $a\text{-SiO}_x\text{:H}$ были получены методом плазмохимического осаждения смеси SiH_4/O_2 из газовой фазы с использованием широкоапертурного источника с индуктивным высокочастотным (ВЧ) возбуждением (13.56 MHz). Мощность ВЧ излучения и температура подложки в процессе синтеза составляли 50 W и 150°C, соответственно. Поскольку состав и морфология исходных пленок существенным образом влияет на результаты отжига, осажденные пленки исследовали методами SEM, EDS, FTIR и Raman.

Морфология исходных пленок субоксида кремния

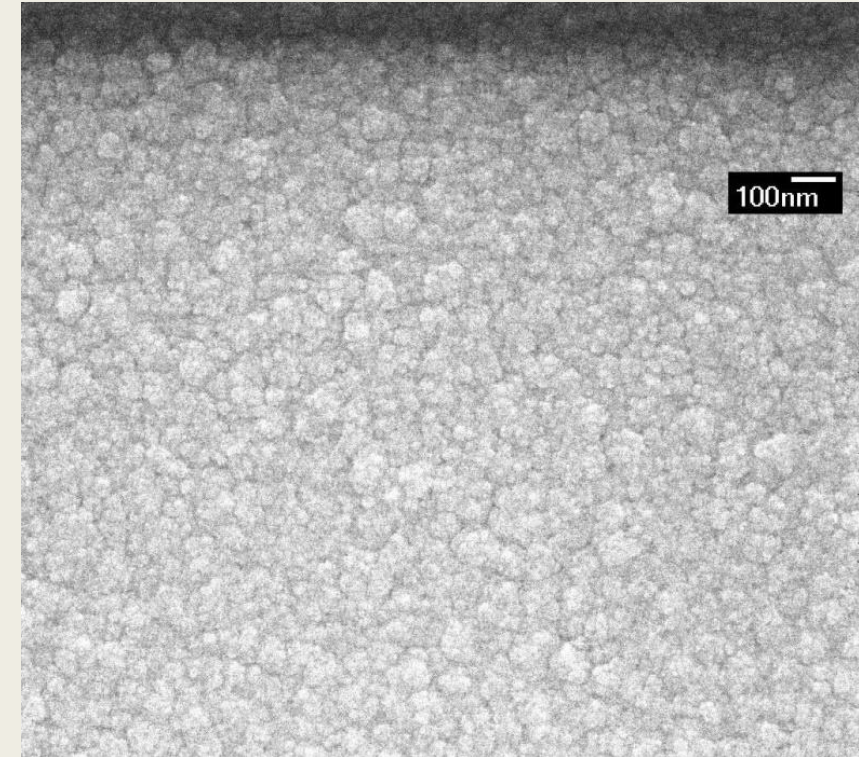


Изображение поперечного среза тонкой пленки субоксида кремния, полученное на сканирующем электронном микроскопе.

Были сделаны снимки на сканирующем электронном микроскопе (SEM) JEOL JSM-6700F.

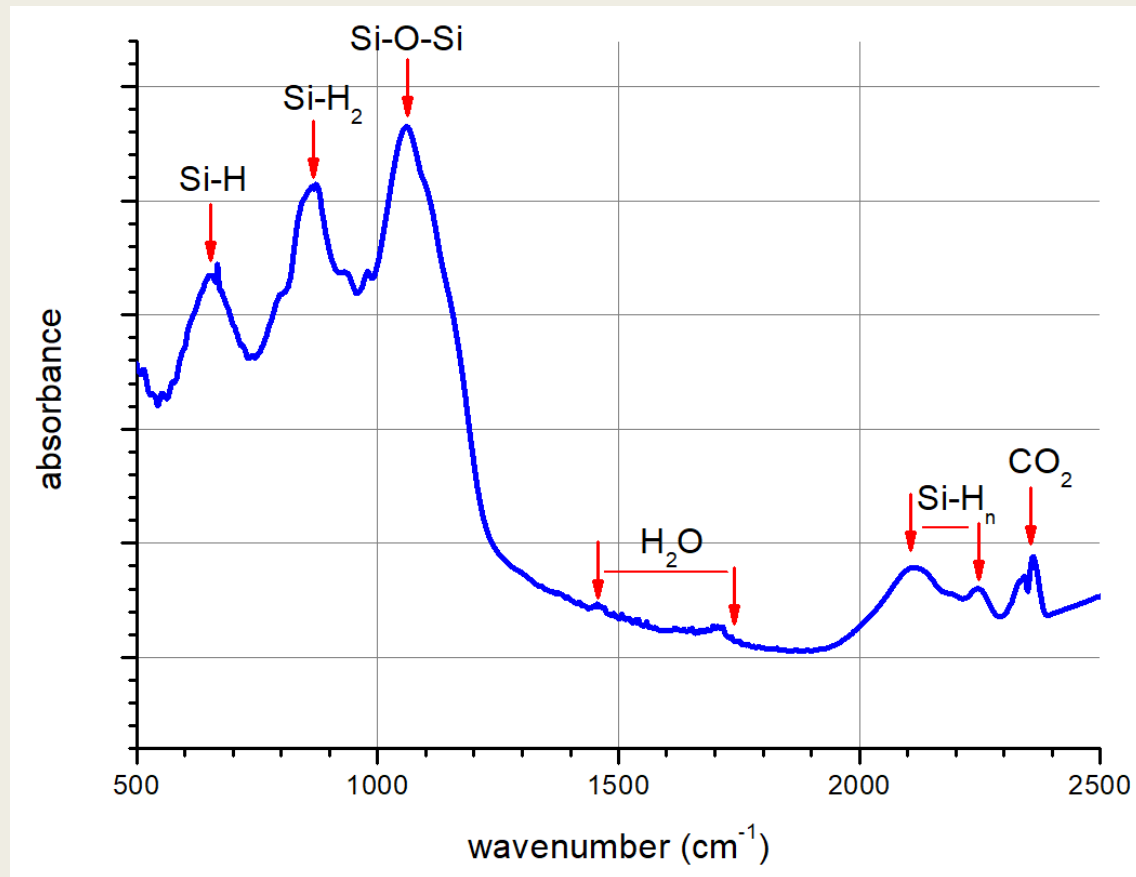
Измеренная на снимках толщина исходной пленки субоксида кремния составила 560 nm. Наблюдается характерная столбчатая структура пленки, обусловленная высокой концентрацией водорода. Столбцы с большим количеством вертикальных пустот начинаются от подложки и проходят вдоль всей пленки в направлении ее роста.

Измерения атомной концентрации кремния и кислорода в исходных пленках, сделанные с помощью рентгеновской спектроскопии с дисперсией по энергии (EDS) показали, что стехиометрический коэффициент исходных пленок равен 0.52.



Изображение тонкой пленки субоксида кремния, полученное на сканирующем электронном микроскопе.

Спектры в ИК диапазоне (FTIR) исходных пленок субоксида кремния



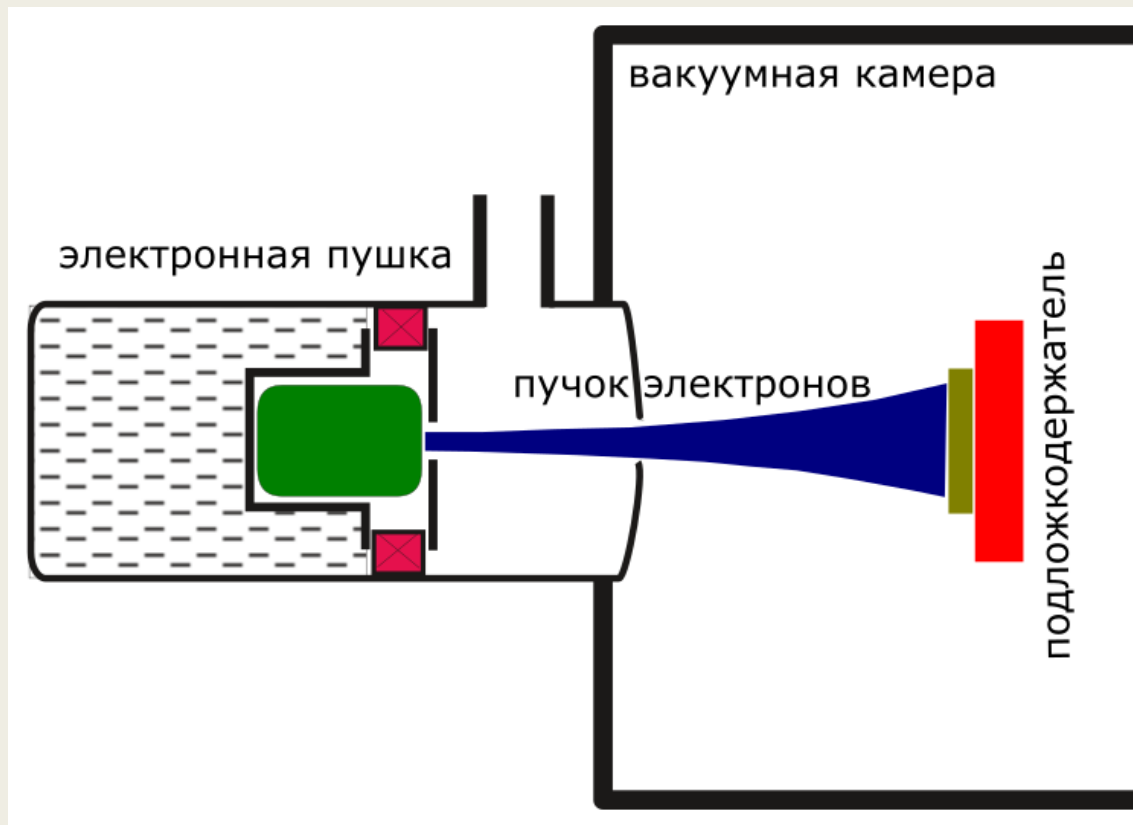
Были получены спектры пропускания в ИК диапазоне (FTIR) на приборе Scimitar FTS 2000 для исходных пленок субоксида кремния.

Полоса на 640 см^{-1} соответствует колебаниям виляния и качания связей Si-H, и интегральное поглощение именно на этой полосе использовали для определения концентрации водорода в пленках. В полученных пленках концентрация водорода составила $C(\text{H}) = 20 \text{ ат}/\%$.

Пик при 800 см^{-1} обусловлен колебаниями изгиба группы Si-O-Si. Полоса в области 875 см^{-1} относится к ножничным колебаниям Si-H₂, (Si-H₂)_n, а также колебаниям изгиба связей H-Si(O₃). Полосу на 940 см^{-1} относят к колебаниям группы Si-OH. Широкий пик 1070 см^{-1} соответствует колебаниям растяжения связей в группах Si-O-Si и часто используется для определения концентрации кислорода в материале.

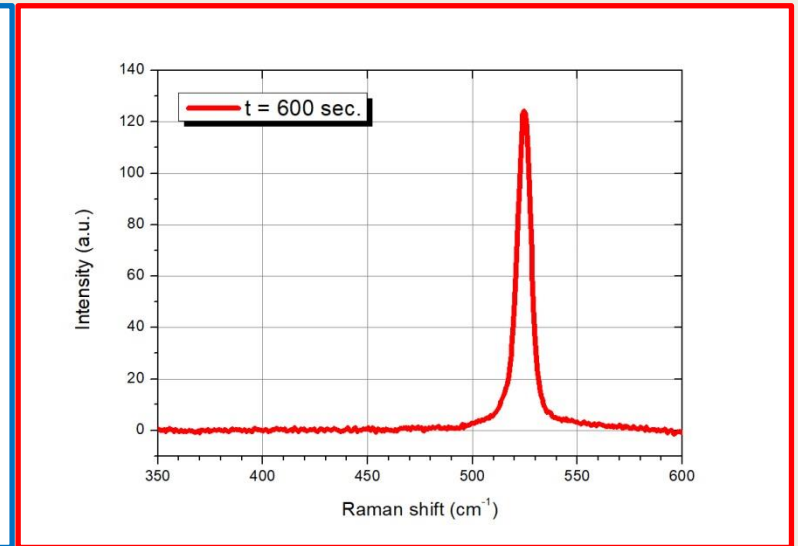
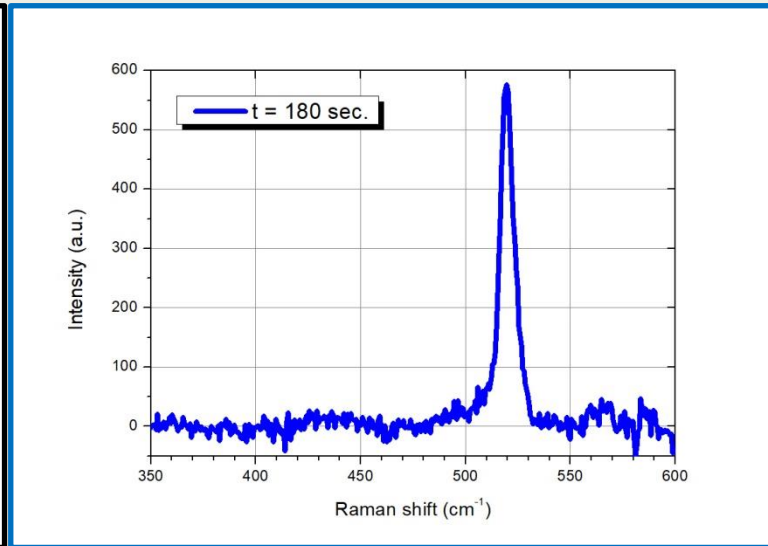
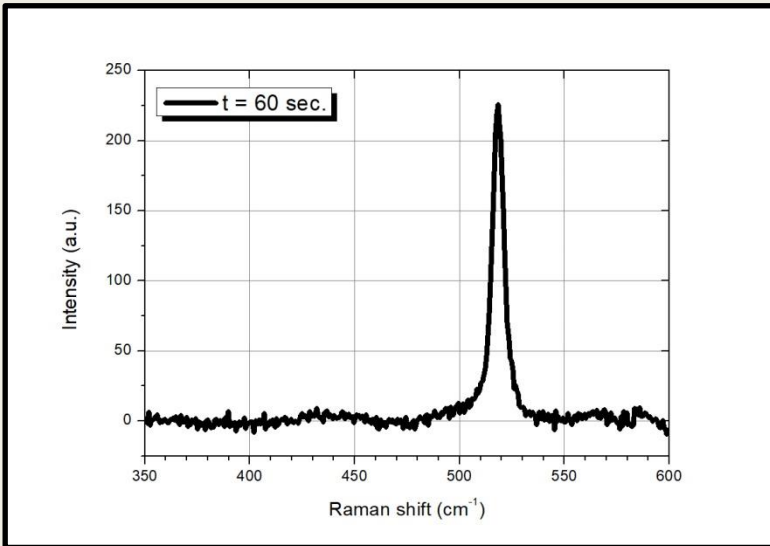
В диапазоне $1900\text{-}2400 \text{ см}^{-1}$ присутствуют следующие пики: полоса на 1970 см^{-1} соответствует моде растяжения связей H-Si(Si₃); полоса на 2120 см^{-1} - колебаниям растяжения связей H-Si(Si₂O) или H₂-Si(Si₂) или (Si-H₂)_n; полоса на 2260 см^{-1} - колебаниям растяжения связей H-Si(O₃).

Электронно-пучковый отжиг тонких пленок аморфного гидрогенизированного субоксида кремния ($a\text{-SiO}_x\text{:H}$)



Отжиг пленок $a\text{-SiO}_x\text{:H}$ осуществлялся в вакуумной камере с давлением 10^{-4} mbar. Электронный пучок создавали с помощью электронной пушки на основе разряда с полым катодом. Ускоряющее напряжение электронного пучка составляло 2000 В и ток 100 мА. Подложкодержатель, с установленным на нем образцом, размещается перпендикулярно электронному пучку. Время воздействия регулировалось включением-выключением электронной пушки. Плотность тока на поверхности образца составило 15 mA/cm^2 .

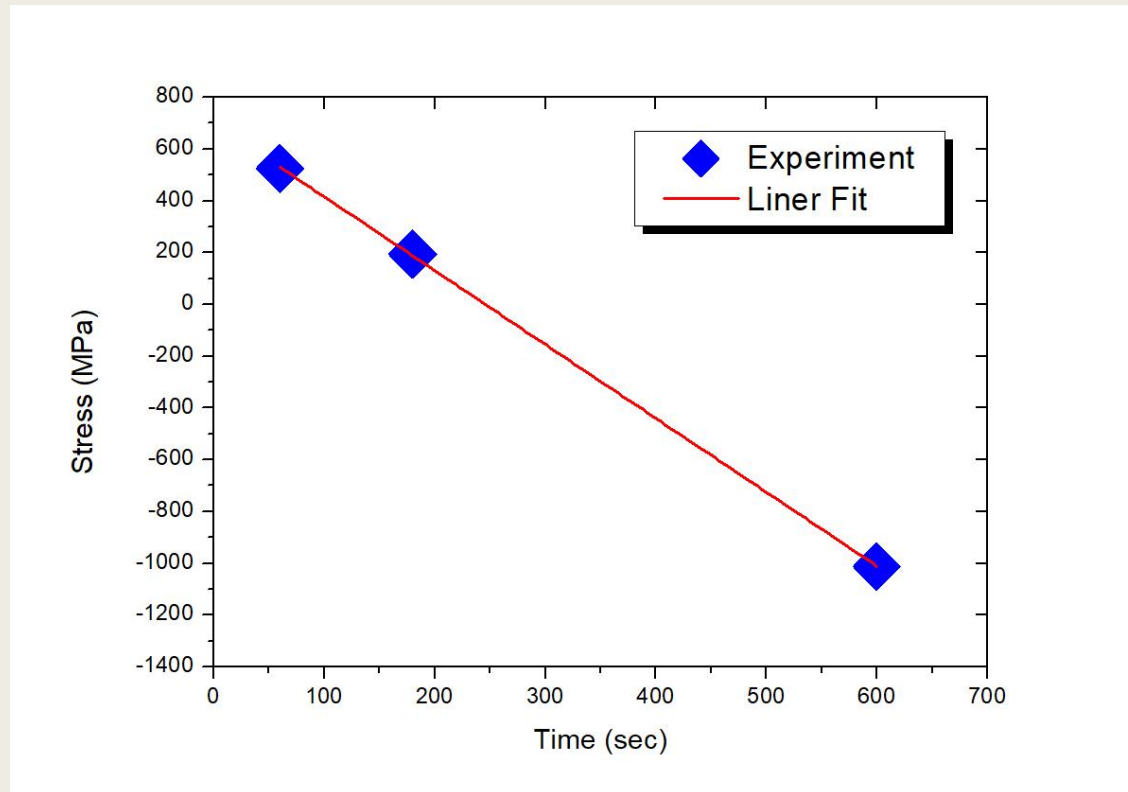
Спектры комбинационного рассеяния света (Raman) пленок субоксида кремния после электронно-пучкового отжига



Спектры комбинационного рассеяния света (Raman) были получены при комнатной температуре обратной геометрии рассеяния с использованием спектрометра T64000 фирмы Horiba Jobin Yvon. Возбуждение спектров Raman осуществлялось на длине волны 514.5 nm и лазерный луч фокусировался в пучок диаметром менее 5 mkm . На спектрах Raman после отжига можно наблюдать характерный пик поли-кристаллического кремния (poly-Si). Это говорит о том, что электронно-пучковый отжиг привел к кристаллизации пленки субоксида кремния с образованием больших (больше 100 nm) поли-кристаллов кремния.

У образца, который подвергался воздействию электронного пучка в течении 60 секунд, положение пика poly-Si составляет 519 cm^{-1} . Такое смещение относительно положения пика для монокристаллического кремния (521 cm^{-1}) показывает на напряжении сжатия в кристаллической решетке. Для образца, который подвергался воздействию электронного пучка в течении 180 секунд, положение пика poly-Si составило 523 cm^{-1} . То есть, при таком времени отжига, кристаллиты испытывают напряжение растяжения. При увеличении времени воздействия электронного пучка до 600 секунд, положение пика poly-Si около 525 cm^{-1} .

Измерение напряжения в пленках субоксида кремния после электронно-пучкового отжига



Напряжение poly-Si можно оценить по смещению пика Raman. Сжимающее напряжение приводит к сдвигу спектров комбинационного рассеяния выше 521 cm^{-1} , в то время как растягивающее напряжение приводит к сдвигу спектров комбинационного рассеяния ниже этого значения.

Деформация может быть оценена по уравнению [1]:

$$\sigma(\text{MPa}) = -250 \cdot (\omega - \omega_0)(\text{cm}^{-1})$$

где ω - сдвиг фононов, который рассчитывается по формуле $(\omega - \omega_0)$. ω_0 - волновое число c-Si без напряжений, а ω - волновое число пленки с напряженным poly-Si.

Полученные значения напряжения в зависимости от времени воздействия электронного пучка на тонкую пленку субоксида кремния хорошо описываются линейной аппроксимацией.

[1] Park, Jae Hyo, Hyung Yoon Kim, Ki Hwan Seok, Hee Jae Chae, Sol Kyu Lee, Yong Hee Lee, Zohreh Kiaee, and Seung Ki Joo. "Tempered glass substrate effect on the growth of polycrystalline-silicon and its applications for reliable thin-film transistors." RSC Advances 5, no. 69 (2015)

Выводы

В данной работе, впервые получены тонкие пленки поликристаллического кремния (poly-Si) в результате воздействия электронного пучка на пленки аморфного субоксида кремния со стехиометрическим коэффициентом 0.5 ($a\text{-SiO}_{0.5}$) и толщиной 560 нм. Ускоряющее напряжение электронного пучка составляло 2000 В и ток 100 мА. Были получены спектры комбинационного рассеяния света тонких пленок поликристаллического кремния в зависимости от времени воздействия электронного пучка на исходный материал. Показано, что в зависимости от времени воздействия, напряжения в пленке поликристаллического кремния изменяются от сжатия до растяжения.