

Особенности спектров комбинационного рассеяния света структур кварц/Si и стекло/Si, обусловленные лазерным отжигом

© Р.В. Конакова*, А.Ф. Коломыс*, О.Б. Охрименко*[¶], В.В. Стрельчук*, А.М. Светличный⁺, М.Н. Григорьев⁺, Б.Г. Коноплев⁺

* Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева
Национальной академии наук Украины,
03028 Киев, Украина

⁺ Таганрогский технологический институт Южного федерального университета (ТТИ ЮФУ),
347928 Таганрог, Россия

(Получена 12 августа 2013 г. Принята к печати 26 августа 2013 г.)

Методом комбинационного рассеяния света исследовано влияние лазерного излучения на характеристики пленок аморфного кремния на стеклянной и кварцевой подложках. Выявлено, что увеличение мощности лазерной обработки приводит к фазовому переходу от аморфного кремния к nano-Si. Изменение соотношения доли нанокристаллического и аморфного кремния в пленке описывается в рамках модели критического воздействия.

1. Введение

С уменьшением размеров приборов и усложнением интегральных схем все большую практическую ценность приобретает возможность селективного воздействия на отдельные элементы приборных структур. В этом плане лазерное облучение из-за избирательного характера взаимодействия с твердым телом является весьма удобным инструментом направленного воздействия [1]. Применение лазерного отжига позволяет создавать пленки поликристаллического кремния, которые перспективны для использования в тонкопленочных транзисторах, жидкокристаллических дисплеях, сенсорах и солнечных элементах за счет рекристаллизации аморфных пленок Si [2]. Кроме того, лазерное излучение позволяет модифицировать электрофизические и оптические характеристики полупроводников, их кристаллическую и дефектную структуру [3,4].

При лазерной обработке слоев аморфного или поликристаллического кремния, нанесенного на стеклянную [2] и кварцевую [5] подложку или подложку из монокристаллического кремния [6] происходит их гомоэпитаксиальная рекристаллизация [2, 5–7]. Такие процессы могут помочь созданию самых эффективных на сегодняшний день каскадных солнечных элементов со структурой аморфный–поликристаллический кремний.

Одним из наиболее чувствительных неразрушающих методов, позволяющих контролировать процесс реструктуризации слоя кремния, подвергнутого лазерной обработке, является комбинационное рассеяние света (КРС).

В данной работе исследуется влияние лазерной обработки на спектры комбинационного рассеяния света (КРС) структур стекло/Si и кварц/Si с толщиной пленки аморфного кремния ~ 1 мкм.

2. Образцы и методика эксперимента

Лазерный отжиг производился на универсальной лазерной установке для обработки полупроводников LIMO 100-532/1064-U на основе Nd:YAG-лазера (изготовитель – фирма LIMO–Lissotschenko Mikrooptik GmbH, Германия) на длине волны 532 нм.

Мощность лазерного излучения при лазерном отжиге (P_L) составляла для структур стекло/Si 50, 55, 60, 70, 75 и 80 Вт, и 60 и 80 Вт для структур кварц/Si, скорость сканирования 5 мм/сек.

Спектры микро-КРС были получены при комнатной температуре в геометрии обратного рассеяния с использованием спектрометра T64000 фирмы Horiba Jobin Yvon, с конфокальным микроскопом (100× объектив, диафрагма 0.90) и охлаждаемым ПЗС детектором. Возбуждение спектров КРС осуществлялось Ar–Kr-лазером ($\lambda = 488.0$ нм). В КРС исследованиях лазерный луч фокусировался в пучок диаметром менее 1 мкм. Точность определения частотного положения фоновых линий составляла 0.15 см^{-1} . Для предотвращения перегрева образцов и возможного при этом лазерного отжига во время измерений мощность возбуждающего лазерного излучения выбиралась в диапазоне от 0 до 1.5 мВт, что соответствует плотности мощности излучения на поверхности образца $20–150 \text{ кВт/см}^2$.

3. Экспериментальные результаты и обсуждение

На рис. 1 приведены спектры КРС исходных пленок кремния (рис. 1, кривая 1) и пленок кремния после лазерного отжига на кварцевой (рис. 1, кривые 2, 3) подложке.

Как видно из рис. 1, в спектрах КРС исходного образца наблюдается широкая полоса в области 480 см^{-1} , которую связывают с аморфным кремнием [1,5,6]. После лазерной обработки в спектре КРС структуры кварц/Si

[¶] E-mail: olga@isp.kiev.ua

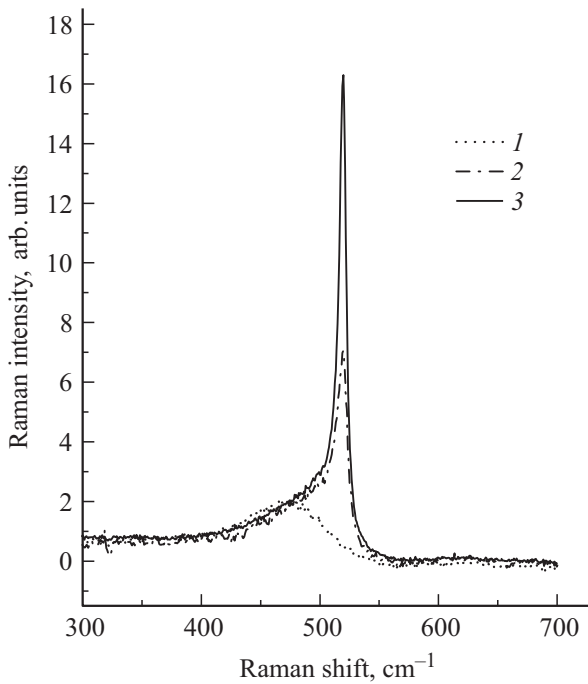


Рис. 1. Спектры КРС пленок кремния на кварцевой подложке до (кривая 1) и после лазерной обработки (кривые 2,3). P_L , Вт: 2 — 60 Вт, 3 — 80 Вт, скорость сканирования 5 мм/с. Для удобства спектры КРС образцов, подвергнутых лазерной обработке, нормированы на интенсивность линии 480 см^{-1} .

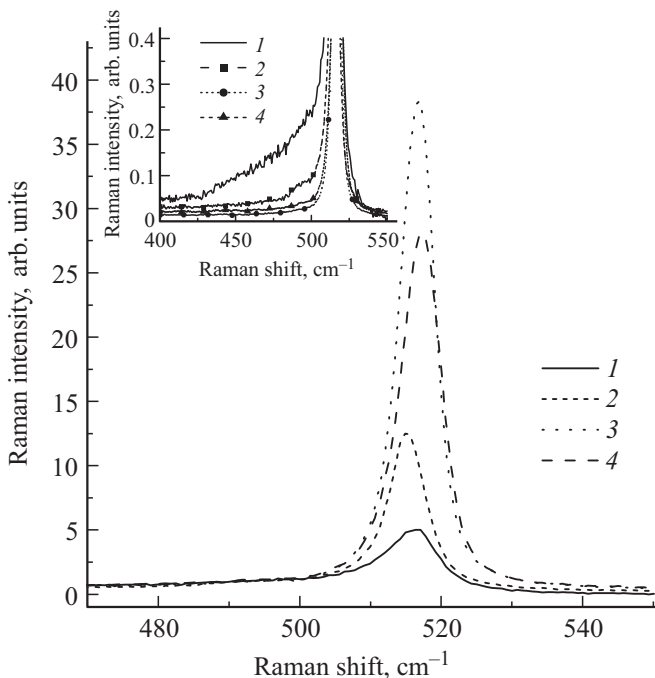


Рис. 2. Спектры КРС пленок кремния на стеклянной подложке до (кривая 1) и после лазерной обработки (кривые 2–4). P_L , Вт: 2 — 50, 3 — 70, 4 — 80, скорость сканирования 5 мм/с. Для удобства спектры КРС образцов, подвергнутых лазерной обработке, нормированы на интенсивность линии КРС 480 см^{-1} . Изменение интенсивности линии КРС 480 см^{-1} показано на вставке.

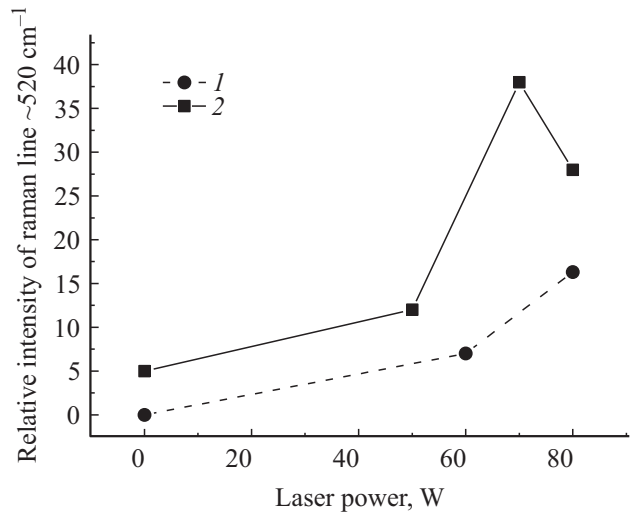


Рис. 3. Зависимости относительной интенсивности линии КРС $\sim 520\text{ см}^{-1}$ от P_L для структур кварц/Si (1) и стекло/Si (2).

появляется полоса $\sim 520\text{ см}^{-1}$, которая, согласно [2,6,7] связана с рассеянием на ТО фоне в нанокристаллитах кремния и обусловлена эффектом квантового конфайнмента, который является признаком фазового перехода от аморфного кремния к nano-Si. При увеличении мощности лазерного отжига полуширина пика КРС в области $\sim 520\text{ см}^{-1}$ уменьшается, а форма становится более симметричной, что свидетельствует об увеличении размеров нанокристаллитов и уменьшении доли аморфного кремния в структуре кварц/Si.

На рис. 2 приведены спектры КРС исходных пленок кремния (рис. 2, кривая 1) и пленок кремния после воздействия лазерного отжига различной мощности (рис. 2, кривые 2–4) на стеклянной подложке.

Как видно из рис. 2, в спектрах КРС исходных структур стекло/Si присутствуют полосы ~ 480 и $\sim 520\text{ см}^{-1}$, что свидетельствует о том, что пленка кремния на стекле характеризуется неоднородным фазовым составом и содержит фазы как аморфного, так и поликристаллического кремния [2,5,7]. Как и в случае структур кварц/Si, при увеличении мощности лазерного излучения в структурах стекло/Si наблюдается незначительное уменьшение полуширины полосы $\sim 520\text{ см}^{-1}$ и уменьшение интенсивности полосы $\sim 480\text{ см}^{-1}$, что свидетельствует о возрастании доли кремния в нанокристаллической фазе.

На рис. 3 приведены зависимости относительной интенсивности линии КРС $\sim 520\text{ см}^{-1}$ от мощности лазерного излучения для структур кварц/Si и стекло/Si. Как видно из рис. 3, независимо от подложки при увеличении P_L наблюдается рост интенсивности линии КРС $\sim 520\text{ см}^{-1}$, что свидетельствует о росте доли нанокристаллического кремния в структуре при увеличении P_L . Немонотонность зависимости относительной интенсивности линии КРС $\sim 520\text{ см}^{-1}$ от мощности лазерного отжига для структур кварц/Si и стекло/Si

можно объяснить в рамках модели критического воздействия [2]. Согласно этой модели при воздействии на поверхность кремния лазерного излучения из-за эффектов поверхностного отражения поглощается и превращается в тепло только часть лазерного излучения. Температура тонкой пленки начинает увеличиваться пропорционально количеству поглощенной энергии лазерного излучения. Пленка плавится до жидкого состояния при достижении температуры плавления α -Si. После облучения расплав остывает и затвердевает в поликристаллической фазе. Образование кристаллитов и увеличение размеров кристаллических зерен в результате лазерной обработки приводит к уменьшению коэффициента поглощения слоя поликристаллического кремния [5,8]. Образование кристаллитов приводит к уменьшению коэффициента поглощения и, как следствие, понижению температуры внутри слоя, что в свою очередь вызывает снижение скорости рекристаллизации [5] и приводит к уменьшению пропускания кремниевого слоя [2,5]. В рассматриваемых структурах кварц/Si и стекло/Si величина критического воздействия лазерного отжига соответствует ~ 60 Вт.

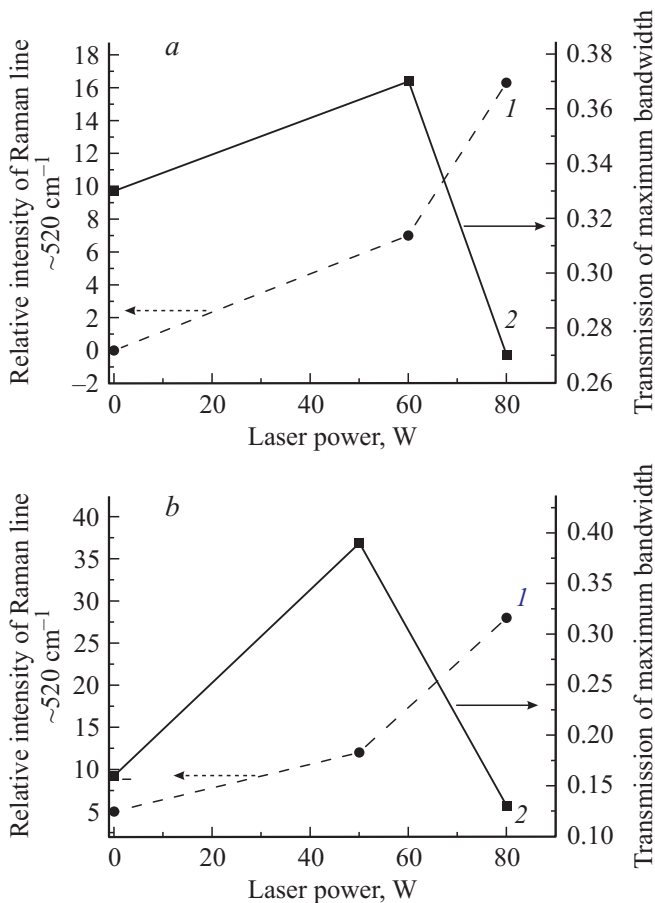


Рис. 4. Зависимости относительной интенсивности линии КРС $\sim 520 \text{ см}^{-1}$ (a) и пропускания [9–11] (b) в максимуме полосы пропускания от мощности лазерного излучения для структур кварц/Si и стекло/Si.

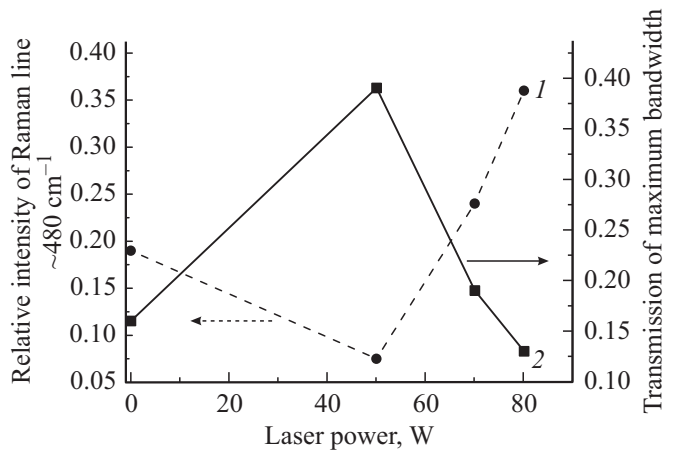


Рис. 5. Зависимости относительной интенсивности линии КРС $\sim 480 \text{ см}^{-1}$ (1) и пропускания (2) [9–11] в максимуме полосы пропускания от мощности лазерного излучения для структур стекло/Si.

На рис. 4 приведены сравнительные данные для зависимостей относительной интенсивности линии КРС $\sim 520 \text{ см}^{-1}$ (a) и пропускания (b) [9–11] в максимуме полосы пропускания от мощности лазерного излучения для структур кварц/Si и стекло/Si. Как видно из рис. 4, при величине P_L ниже критической увеличение интенсивности линии КРС, связанной с кристаллическим кремнием, сопровождается увеличением пропускания структуры, в то же время при воздействиях лазерного излучения с мощностью выше критической увеличение интенсивности этой линии КРС сопровождается уменьшением пропускания структуры. Данную особенность можно объяснить следующим образом. На рис. 5 приведена зависимость относительной интенсивности линии КРС $\sim 480 \text{ см}^{-1}$ и пропускания [9–11] в максимуме полосы пропускания от мощности лазерного излучения для структур стекло/Si.

Как видно из рис. 5, рост интенсивности линии КРС $\sim 480 \text{ см}^{-1}$, связанной с аморфным кремнием [2,5,7], сопровождается уменьшением пропускания в структуре стекло/Si. При мощности лазерного излучения выше критического значения наблюдаются увеличение доли аморфного кремния в пленке и соответственно и увеличение поглощения.

4. Заключение

Таким образом, проведенные исследования показали, что воздействие лазерного излучения на структуры кварц/Si приводит к фазовому переходу в пленке кремния от аморфного кремния к нано-Si. В структурах стекло/Si лазерное воздействие также приводит к уменьшению доли аморфного кремния, однако данный эффект выражен слабее по сравнению со структурой кварц/Si.

Список литературы

- [1] Ф.Х. Мирзоев, В.Я. Панченко, Л.А. Шелепин. УФН, **166**, 3 (1996).
- [2] Zhijun Yuan, Qihong Lou, Jun Zhou, Jingxing Dong, Yunrong Wei, Zhijiang Wang, Hongming Zhao, Guohua Wu. Opt. Laser Techn., **41**, 380 (2009).
- [3] В.А. Карачинов. ФТП, **31**, 53 (1997).
- [4] Г.К. Сафаралиев, Ю.Н. Эмиров, М.К. Курбатов, Б.А. Биланов. ФТП, **34**, 929 (2000).
- [5] T. Arguirov, T. Mchedlidze, V.D. Akhmetov, S. Kouteva-Arguirova, M. Kittler, R. Rölver, B. Berghoff, M. Först, D.L. Bätzner, B. Spangenberg. Appl. Surf. Sci., **254**, 1083 (2007).
- [6] Luis A. Marques, Lourdes Pelaz, Maria Aboy, Juan Barbolla. Nucl. Instr. Meth. in Phys. Res. B, **216**, 57 (2004).
- [7] T. Mchedlidze, T. Arguirov, S. Kouteva-Arguirova, G. Jia, M. Kittler, R. Rölver, B. Berghoff, M. Först, D.L. Bätzner, B. Spangenberg. Thin Sol. Films, **516**, 6800 (2008).
- [8] А.В. Двуреченский, Г.А. Качурин, Е.В. Нидаев, Л.С. Смирнов. *Импульсный отжиг полупроводниковых материалов* (М., Наука, 1982).
- [9] В.Н. Лисоченко, Р.В. Конакова, Б.Г. Коноплев, В.В. Кушнир, О.Б. Охрименко, А.М. Светличный. ФТП, **44**, 326 (2010).
- [10] Е.Ю. Волков, В.Н. Лисоченко, Р.В. Конакова, О.Б. Охрименко, А.М. Светличный. Изв. вузов. Физика, **54**, 143 (2011).
- [11] R.V. Konakova, V.P. Kladko, O.S. Lytvyn, O.B. Okhrimenko, B.G. Konoplev, A.M. Svetlichnyi, V.N. Lissotschenko. SPQEO, **12**, 284 (2009).

Редактор Т.А. Полянская

Features of the Raman spectra of the structures quartz/Si and glass/Si, due to laser annealing

R.V. Konakova*, A.F. Kolomys*, O.B. Okhrimenko*, V.V. Strelchuk⁺, A.M. Svetlichnyi⁺, M.N. Grigoriev⁺, B.G. Konoplev⁺

* V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, National Academy of Sciences of Ukraine, 03028 Kyiv, Ukraine

⁺ Taganrog Institute of Technology, Southern Federal University, 347928 Taganrog, Russia

Abstract Raman scattering studied of the effect of the laser radiation on the characteristics of amorphous silicon films on glass and quartz substrate. Revealed that the increase in the power of laser treatment leads to a phase transition from amorphous silicon to nano-Si. Changing the ratio of the proportion of nanocrystalline and amorphous silicon film described in the model critical impact.