

ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА СПЕКТРЫ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ ОТ СУБМИКРОННЫХ ПЛЕНОК КРЕМНИЯ НА САПФИРЕ

В.П. Аксенов, В.С. Горелик, Б.Г. Журкин, Р.Н. Хашимов

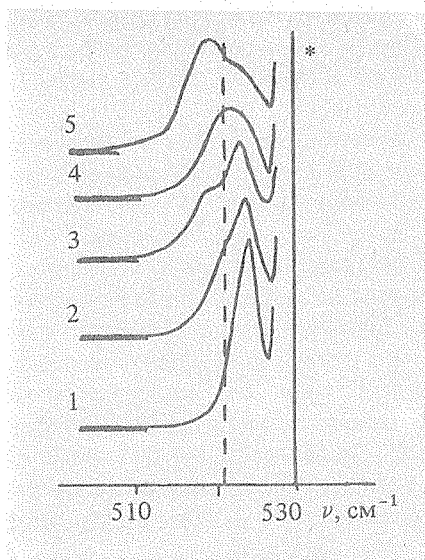
УДК 535.361

По спектрам комбинационного рассеяния в пленке кремния, облученной импульсным лазером, обнаружено возникновение в пленке двух слоев, отличающихся величиной и знаком механических напряжений.

Влияние лазерного облучения на спектры комбинационного рассеяния (КР) света монокристаллов кремния изучалось ранее в работах /1, 2/. Такие исследования позволяют получить информацию о характеристиках кристаллической решетки кремния в тонких ($\leq 0,5$ мкм) слоях с высокой пространственной разрешающей способностью ($\leq 0,1$ мкм). В работе /1/ по спектрам КР было установлено, что под действием мощных лазерных импульсов ($\sim 10^8$ Вт/см²) происходит рекристаллизация имплантированного приповерхностного слоя кремния. Влияние лазерного облучения проявляется в спектре КР в виде возникновения дополнительного максимума, обусловленного колебаниями кристаллической решетки лазерно-отожженного приповерхностного слоя кремния.

В настоящей работе впервые исследовалось влияние лазерного облучения на спектры КР монокристаллической субмикронной (0,6 мкм) пленки кремния на диэлектрической подложке.

Пленка кремния была эпитаксиально выращена в направлении [001] на подложке из сапфира с ориентацией [1 012]. Один из участков пленки (с площадью ≈ 10 мм²) был подвергнут облучению лазером на рубине ($\lambda = 694,7$ нм) с плотностью энергии импульса ~ 1 Дж/см² и длительностью 30 нс. Спектры КР пленки кремния возбуждались с помощью линии $\lambda = 488,0$ нм аргонового лазера мощностью $\sim 0,5$ Вт по схеме "на отражение". Исследуемая пленка помещалась в специальный держатель, позволяющий сканировать ее относительно лазерного луча, и таким образом отображать на щели спектрометра различные участки поверхности (с площадью $0,15 \times 1,5$ мм²). Для сравнения были проведены также исследования влияния лазерного облучения на спектры КР от объемного монокристалла кремния.



Р и с. 1. Спектры КР в различных точках поверхности пленки кремния на сапфире, облученной лазером: 1 – на необлученном участке; 2 – на границе облучения; 3 – вблизи границы внутри облученного участка; 4 – в средней части облученного участка; 5 – в центре облученного участка. Пунктиром показана частота КР ($520,9 \text{ см}^{-1}$) в исходном монокристалле.

На рис. 1 показаны спектры КР, полученные на различных расстояниях от центра облученного участка. Пунктиром показано положение линии КР объемного монокристалла кремния, а звездочкой – линии разряда аргонового лазера. Спектр 1 на этом рисунке соответствует необлученной области пленки. Линия КР на этом спектре имеет частоту $524,2 \pm 0,3 \text{ см}^{-1}$ и полуширину $4,3 \pm 0,3 \text{ см}^{-1}$, что превышает значения для объемного монокристалла соответственно на $3,3$ и $0,7 \text{ см}^{-1}$. Возрастание частоты линии в спектре КР пленки кремния на сапфире по сравнению с частотой в спектре монокристалла связано [3, 4] с наличием деформации сжатия в решетке пленки, что обусловлено различием параметров решеток пленки и подложки.

Спектр 2 на рис. 1 получен в области границы облученного и необлученного участков. Видно, что частота линии КР незначительно уменьшается, а ее полуширина увеличивается по сравнению со спектром 1. С приближением к центру облученного участка (спектры 3-5) частота линии КР продолжает

уменьшаться, ширина — увеличиваться, а на низкочастотном крыле проявляется добавочный максимум. В центре облученного участка частота добавочного максимума составляет $519,1 \pm 0,3 \text{ см}^{-1}$, а ширина контура КР увеличивается до $9,6 \pm 0,3 \text{ см}^{-1}$.

В результате облучения в аналогичных условиях поверхности объемного монокристалла кремния в спектре КР наблюдалось увеличение интенсивности КР "основного" максимума в 1,8 раза. При этом ширина и частота обсуждаемой линии КР практически не изменялись.

Отличие вида наблюдаемых спектров КР на облученных участках в субмикронной пленке кремния на сапфире и в объемном монокристалле можно объяснить следующим образом. При использованных режимах лазерного облучения ($W \sim 1 \text{ Дж/см}^2$) происходит плавление приповерхностного слоя пленки кремния толщиной $\approx 0,2 \text{ мкм}$ /5/. При этом нижний слой пленки кремния ($\approx 0,4 \text{ мкм}$), непосредственно контактирующий с подложкой, остается кристаллическим. После лазерного облучения происходит быстрая ($\approx 200 \text{ нс}$) рекристаллизация приповерхностного слоя кремния за счет остывания образцов /5/. Таким образом, на облученном участке пленки кремния образуется два типа кремниевых слоев.

В наших экспериментах в спектрах КР облученной пленки кремния на сапфире обнаруживаются два максимума. Один из них характеризуется частотой, близкой к частоте КР в необлученной пленке. По-видимому, он обусловлен тонким слоем кремния, контактирующим с подложкой. Другой максимум соответствует приповерхностному слою пленки кремния. Уменьшение частоты КР этого максимума по сравнению с частотой КР в необлученной пленке свидетельствует об уменьшении плотности кремния и о проявлении напряжения растяжения в этой области, что естественно объяснить за счет неравновесных условий рекристаллизации приповерхностного слоя.

Как видно из рис. 1 частота основного максимума несколько уменьшается при переходе от периферии к центру облученного участка. Такое уменьшение частоты можно объяснить некоторым растяжением слоя пленки кремния, контактирующего с подложкой, под действием деформаций, возникающих в приповерхностном слое пленки при лазерном облучении.

Оценка механических напряжений на облученном участке пленки кремния, проведенная согласно /5/, показала, что на границе облученного участка напряжения составляют минус $1,6 \cdot 10^9$, а в центре — плюс $0,9 \cdot 10^9 \text{ н/м}^2$.

В случае монокристалла кремния можно предположить, что облученная поверхность кристалла остывает равномерно, что не вызывает возникновения механических деформаций. Поэтому в спектрах КР облученного монокристалла не наблюдается изменений частоты и формы контура КР.

Таким образом, в настоящей работе на основании анализа спектров КР показано, что в результате лазерного облучения субмикронной пленки кремния на сапфире происходит образование в этой пленке двух слоев, характеризующихся различной величиной механических напряжений; при этом слой, прилегающий к подложке, остается практически неизменным, а в приповерхностном слое происходит растяжение кристаллической решетки. Величина возникающих напряжений в приповерхностном слое пленки и его толщина зависят от характеристик лазерного излучения. В соответствии с этим можно предположить, что при определенных режимах облучения напряжения, возникающие в процессе выращивания пленки кремния на сапфире, могут быть существенно ослаблены.

Поступила в редакцию 16 ноября 1984 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Morhange J.F., Kanellis G., Balkanski M. Sol. State Comm., 31, 805 (1979).
2. Engstrom H., Bates J.B. J. Appl. Phys., 50, 2921 (1979).
3. Englert T., Abstreiter G., Pontcharra J. Solid-State Electronics, 23, 31 (1980).
4. Горелик В.С. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 6, 18 (1984).
5. Thompson M.O. et al. Appl. Phys. Lett., 42, 445 (1983).