

ВЛИЯНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ИМПЛАНТАЦИИ И ОТЖИГА КРЕМНИЯ НА СПЕКТРЫ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА

Р.Н. Хашимов, В.С. Горелик

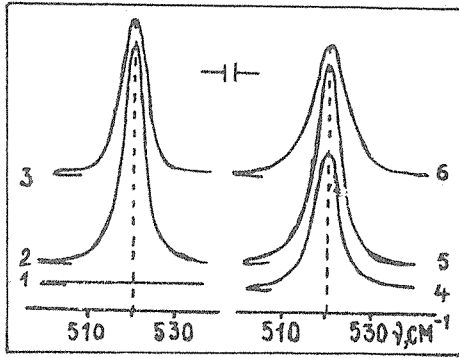
УДК 535.361

Исследовано влияние на спектры комбинационного рассеяния света условий аморфизации и отжига монокристаллов кремния при имплантации молекулярными ионами. Проведено сравнение результатов со случаем имплантации атомными ионами различных масс.

В настоящее время известны исследования влияния имплантации атомными ионами на спектры комбинационного рассеяния (КР) света в кремнии /1/. При этом обнаруживается изменение параметров линии КР в зависимости от дозы имплантируемой примеси, что связывается с аморфизацией приповерхностной области кристалла.

Нами сообщается об исследовании спектров КР кремния, имплантированного молекулярными ионами (фторидом бора), применяющимися в последнее время в технологии аморфизации кристаллов. Исследования проводились на монокристаллах кремния с ориентацией [111], имплантированных при энергиях $E = 50$ и 150 кэВ в диапазоне доз $D = 6,3 \cdot 10^{13} \div 6,3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$. Некоторые образцы были отожжены при 850 и 1000 °С в течение 30 мин. Для сравнения были получены также спектры КР исходного монокристалла и кремния, имплантированного при $E = 50$ кэВ атомными ионами (бора и мышьяка). Спектры КР исследовались по известной схеме "на отражение" с использованием в качестве возбуждающей линии $\lambda = 5105 \text{ \AA}$ лазера на парах меди.

На рис. 1 показаны спектры КР образцов кремния, имплантированных фторидом бора при $E = 50$ и 150 кэВ и дозе $D = 31,3 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$. Спектры 1 и 4 на этом рисунке соответствуют неотожженным образцам, а спектры 2,5 и 3,6 – отожженным соответственно при 850 и 1000 °С. Как видно из рис. 1, в обсуждаемых спектрах проявляется линия КР с частотой $520,4 \text{ см}^{-1}$, обусловленная трехкратно вырожденным оптическим колебанием подрешеток кремния. При отжиге образцов происходит уширение линии КР, особенно заметное при энергии имплантации 150 кэВ. Наблюдаемый эффект можно объяснить тем, что при отжиге происходит активация ионов примеси, т.е.



Р и с. 1. Спектры КР кремния, имплантированного фторидом бора, при дозе $31,3 \times 10^{14} \text{ см}^{-2}$ и энергиях 50 кэВ (1 – 3) и 150 кэВ (4 – 6), до отжига (1,4) и после отжига при 850°C (2,5) и 1000°C (3,6)

возникновение свободных носителей заряда. Это приводит к проявлению эффекта Фано, в результате которого ширина γ линии КР увеличивается. При этом температура отжига играет существенную роль (табл. 1).

Действительно, при отжиге происходит не только восстановление кристаллической решетки и активация примеси, но и диффузия примесных ионов в глубь кристалла. Как известно [3], при отжиге при $T = 850^\circ\text{C}$ диффузия невелика, т.е. примесь активируется лишь в тонком ($\sim 0,03 \text{ мкм}$) слое кремния. Поэтому вклад этого слоя в КР мал и уширение линии невелико. Более высокая температура отжига ($\sim 1000^\circ\text{C}$) приводит к существенной диффузии (до $\sim 0,1 \text{ мкм}$) и активации ионов примеси, что увеличивает вклад слоя, содержащего примесь, в спектр КР, и уширение становится заметным (рис.1).

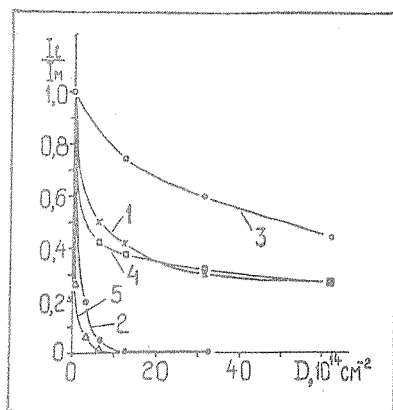
Таблица 1.

Зависимость параметров линии КР кремния от условий имплантации и температуры отжига

| | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----|----------------------|------|------|----------------------|------|------|----------------------|
| E, кэВ | 0 | 50 | | | 150 | | | 150 |
| D, см^{-2} | 0 | $31,3 \cdot 10^{14}$ | | | $31,3 \cdot 10^{14}$ | | | $12,5 \cdot 10^{14}$ |
| T, $^\circ\text{C}$ | 23 | 23 | 850 | 1000 | 23 | 850 | 1000 | 1000 |
| γ , см^{-1} | 3,6 | — | 4,8 | 5,8 | 4,8 | 5,1 | 7,4 | 6,8 |
| I_I/I_M | 1,0 | 0,05 | 0,61 | 0,54 | 0,30 | 0,59 | 0,37 | 0,42 |

Из рис. 1 также видно, что ширина линии КР зависит не только от температуры отжига, но и от энергии имплантации (ср. спектры 3 и 6 на рис. 1). Это можно объяснить следующим образом. В общем случае сигнал КР обусловлен рассеянием как в области, где произошла диффузия и присутствует большое число свободных носителей ($> 10^{19} \text{ см}^{-3}$), так и в области монокристаллического кремния с низкой исходной концентрацией носителей ($< 10^{16} \text{ см}^{-3}$). В образцах с $E = 150 \text{ кэВ}$ глубина диффузии больше глубины проникновения возбуждающего излучения в кристалл, а в образцах с $E = 50 \text{ кэВ}$ — меньше. Это приводит к тому, что при $E = 50 \text{ кэВ}$ сигнал КР обусловлен рассеянием в областях и с низкой и с высокой концентрациями носителей, а при $E = 150 \text{ кэВ}$ — рассеянием лишь в области с высокой концентрацией свободных носителей заряда р-типа. Поэтому эффект Фано, связанный с наличием носителей р-типа, проявляется сильнее при $E = 150 \text{ кэВ}$ (табл. 1).

На рис. 2 представлены полученные из спектров КР зависимости относительной интенсивности I_I/I_M от дозы D фторида бора, имплантированного при энергиях 150 (кривая 1), 50 (кривая 2) и при $E = 150 \text{ кэВ}$ и температуре отжига 85°C (кривая 3), а также от дозы бора и мышьяка (соответственно кривые 4 и 5), имплантированных при $E = 50 \text{ кэВ}$. Здесь I_I — интенсивность линии КР в спектре имплантированного образца, I_M — в спектре исходного монокристалла кремния. Из рис. 2 видно, что при имплантации с $E = 50 \text{ кэВ}$ ионами фторида бора (кривая 2), зависимость I_I/I_M от дозы D аналогична случаю имплантации атомными ионами большой массы (мышьяком, кривая 5). При этом значения интенсивности КР обращаются в нуль даже при небольших дозах примеси ($\sim 1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$), что свидетельствует о полной аморфизации приповерхностных слоев образцов на всей глубине ($\sim 0,03 \text{ мкм}/2$) проникновения возбуждающего излучения. При увеличении энергий имплантации ионами фторида бора до 150 кэВ зависимость I_I/I_M от D (кривая 1) становится аналогичной случаю имплантации с энергией 50 кэВ атомными ионами малой массы (бором, кривая 4). При этом сигнал КР наблюдается даже при больших дозах примеси, что свидетельствует о малой аморфизации в этих случаях. Отличие хода зависимостей кривых 1 и 2 (рис. 2), полученных при различных энергиях имплантации фторида бора, можно объяснить тем, что при увеличении энергии E глубина, на которой располагается имплантируемый слой, увеличивается и достигает $\sim 0,1 \text{ мкм}/2$. При этом плотность нарушений и степень аморфизации решетки кремния уменьшаются, а следовательно, растет интенсивность КР (ср. кривые 1 и 2 на рис. 2 и спектры 1 и 4 на рис. 1).



Р и с. 2. Зависимости относительной интенсивности КР I_1/I_M от дозы примеси D в кремнии, имплантированном: фторидом бора с $E = 150$ кэВ (1) и 50 кэВ (2) до отжига и с $E = 150$ кэВ после отжига при 850°C (3); бором (4) и мышьяком (5) при $E = 50$ кэВ

Из сравнения зависимостей 2, 4, 5 (рис. 2), полученных при одинаковой энергии имплантации, видно, что увеличение массы ионов примесей приводит к резкому падению интенсивности КР. Это можно объяснить более эффективным разрушением кристаллической решетки массивными ионами (мышьяка и фторида бора), чем легкими (бора).

В результате проведенных исследований показано, что имплантация кремния молекулярными ионами фторида бора с малой энергией приводит к весьма эффективной аморфизации поверхности кремния, как и в случае имплантации атомными ионами с большой массой. При увеличении энергии имплантации фторидом бора зависимость интенсивности КР от дозы примеси становится аналогичной случаю имплантации ионами атомов с малой массой и меньшей энергией. Из спектров КР следует, что в результате имплантации образцов молекулярными ионами фторида бора происходит эффективное легирование только приповерхностного слоя кремния; степень легирования зависит от температуры отжига, дозы и энергии легирующей примеси.

Поступила в редакцию 19 июня 1984 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. J.F. Morhange, G. Kanellis, M. Balkanski, Sol. State Commun., 31, 805 (1979).
2. J.F. Gibbons, W.S. Johnson, S.W. Mylroie, Projected Range Statistics, "Haisted Press", Dowden, Hutchinson Ross, Inc. Stroudsburg, Pennsylvania, 1975.
3. X. Риссел, Н. Руге. Кн. Ионная имплантация, М., Наука, с. 80, 1983.