

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СПЕКТР ЛОКАЛИЗОВАННЫХ СОСТОЯНИЙ АМОРФНЫХ СЛОЕВ  $SiN_x$ 

Э.П. Домашевская, Е.Н. Десятирикова,  
Г.Л. Курышев, Ю.М. Попов,  
В.Н. Селезнев, А.П. Соловьев,  
В.А. Терехов, Г.Г. Эльдаров

Слои азотированного аморфного кремния ( $a-SiN_x$ ) привлекают пристальное внимание исследователей в связи с перспективой использования их в твердотельных приборах [1]. Однако энергетический спектр и микроскопическая природа локализованных состояний (ЛС) в щели подвижности  $a-SiN_x$  в настоящее время не изучены. В данной работе сообщается о результатах исследований энергетического спектра электронных состояний пленок  $a-SiN_x$  методом ультрамягкой рентгеновской спектроскопии (УМРС).

На спектрометре-монокроматоре РСМ-500 регистрировались  $SiL_{2,3}$ -спектры эмиссии, возникающие при переходе электронов из валентной зоны (ВЗ) и заполненных ЛС на вакансии во внутреннем 2p-уровне кремния. Вакансии создавались электронным пучком с энергией электронов 3 кэВ. При этом глубина анализируемой области составляла 60 нм.

На рис. 1 приведены рентгеновские спектры эмиссии пленок  $a-SiN_x$  переменного состава, полученных методом плазмохимического осаждения из газовой смеси  $SiH_4 + NH_3$  при температуре 280 °С. Область энергий на спектре 80.5–99.6 эВ отражает распределение плотности состояний в ВЗ. За краем зоны отчетливо наблюдается спектр ЛС, который снимался с чувствительностью, увеличенной в 10 раз. Как и следовало ожидать, при соотношении реагентов  $R = [NH_3]/[SiH_4] = 0$  спектр идентичен известному спектру аморфного кремния [2]. С ростом  $R$  увеличивается ширина щели подвижности от  $\sim 1.7$  эВ при  $R = 0$  до 6 эВ при  $R = 4$ . При относительно большом содержании азота (кривые 2 и 3) в спектре ВЗ при энергиях 81.5, 90.6 и 96.6 эВ проявляются особенности А, В и С, характерные для пленок аморфного нитрида кремния. По виду спектра ВЗ можно заключить, что при  $R = 4$  состав пленок близок к стехиометрическому  $a-Si_3N_4$  [3].

Особый интерес представляет спектр ЛС. Видно, что пленки  $SiN_x$ , близкие к стехиометрическому составу  $a-Si_3N_4$ , характеризуются непрерывной плотностью состояний по всей щели подвижности. На их спектре можно выделить, по крайней мере, три характерных максимума „а“, „в“, „с“ при энергиях 100.8, 102.1 и 103.2 эВ соответственно. В наших экспериментах удалось проследить зависимость интенсивности максимума „с“ от содержания азота в пленке. С изменением от 2 до 4 интенсивность максимума „с“ быстро возрастает (более, чем в 4 раза), в то время как особенности основной полосы А и С, отражающие плотности гибри-

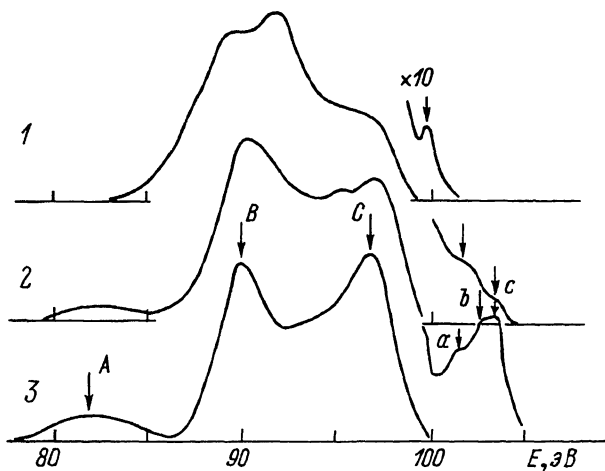


Рис. 1. Рентгеновские спектры эмиссии  $SiL_{2,3}$  аморфных слоев  $SiN_x$  переменного состава: 1 -  $R = 0$ , 2 -  $R = 2$ , 3 -  $R = 4$ .

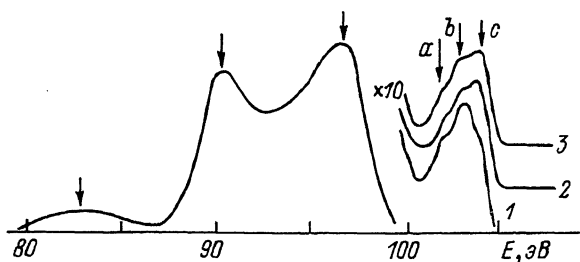


Рис. 2.  $SiL_{2,3}$ -спектры пленок  $a-Si_3N_4$ : 1 - стехиометрического состава, 2 - с избыточным азотом, 3 - имплантированного ионами азота и отожженного.

ных состояний  $N2s-Si2s$  и  $N2p-Si3p$  [3], изменяются не более 30%.

Аналогичные изменения спектра ЛС при введении избыточного азота наблюдались нами также для слоев пиролитического  $a-Si_3N_4$ , полученного аммонолизом тетраоксида кремния при температуре  $850^\circ C$ . На рис. 2 (кривые 1 и 2) представлены  $SiL_{2,3}$ -спектры эмиссии  $a-Si_3N_4$  стехиометрического состава и с избыточным азотом. Как видно из рисунка, и в этом случае добавление азота в пленку в процессе осаждения сопровождается увеличением интенсивности максимума „с“. К такому же результату приводит имплантация стехиометрического  $a-Si_3N_4$  ионами азота. Слои имплантиро-

вались ионами с энергией 30 кэВ и объемной дозой  $5 \cdot 10^{19}$  см<sup>-3</sup>. После имплантации производился импульсный отжиг радиационных дефектов. Кривая 3 показывает плотность ЛС в имплантированном образце после отжига. На основании полученных данных можно сделать вывод, что интенсивность максимума при энергии 103.2 эВ в слоях  $SiN_x$ , близких по составу к стехиометрическому нитриду кремния, коррелирует с содержанием азота в пленке, и что азот при его относительном избытке ответственен за образование локализованных состояний в верхней части щели подвижности.

Таким образом, методом УМРС впервые определены электронная структура ВЗ и особенности спектра ЛС аморфных пленок  $SiN_x$ .

В заключение авторы выражают благодарность А.Г. Итальянцеву и В.Н. Мордковичу за проведение имплантации азота в слой  $a-Si_3N$ .

## Л и т е р а т у р а

- [1] D u n n e t t B., L e C o m b e r P.G., S p e a r W.E. // Phil. Mag. B. 1988, V. 57. N 4. P. 483-492.
- [2] T e r e k h o v V.A., T r o s t j a n s k i j S.N., D o m a s h e v s k a y a E.P., G o l i k o v a O.A. // Phys. Stat. Sol. (B), 1986. V. 138. P. 647-653.
- [3] Б р ы т о в И.А., Г р и ц е н к о В.А., Р о м а ш е н к о Ю.Н. // ФТТ, 1984. Т. 26. № 6. С. 1685-1690.

Поступило в Редакцию  
4 октября 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 1

12 января 1989 г.

## ВЗАИМНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ОБЪЕМНЫХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В СЛОИСТОЙ СТРУКТУРЕ

Д.К. Г р а м о т н е в

В работе [1] было описано взаимное преобразование сдвиговых поверхностных и объемных акустических волн на периодически возмущенной поверхности твердого тела, продемонстрирован резонансный характер такого преобразования. В данной статье на примере сдвиговых волн рассматривается еще один тип взаимного резонансного преобразования поверхностных и объемных акустических волн. Такое преобразование может иметь место в слоистой структуре и аналогично эффекту нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) при возбуждении или обнаружении поверхностных [2] и волноводных [3-5] электромагнитных волн. Получены условия акустического резонанса и подавления зеркального отражения сдвиговой