

06; 12

© 1991

ПОЛУЧЕНИЕ АМОРФНЫХ ГИДРОГЕНИЗИРОВАННЫХ ШИРОКОЗОННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ  $\alpha\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$  В РЕАКТОРЕ С ВЫНЕСЕННОЙ ПОДЛОЖКОЙ

А.А. Андреев, П.А. Андреев,  
М.Х. Ганиев, Ю.М. Таиров,  
Д. Ханов, В.Ф. Цветков,  
С.В. Чернышов

Успехи в применении широкозонного  $\alpha\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$  в электролюминесцентных экранах [1, 2], в тандемных солнечных элементах [3], в качестве пассивирующих и прочных покрытий резко повысили интерес к способам получения таких материалов.

Однако по ряду причин получение аморфного карбида кремния с большой шириной запрещенной зоны затруднено. Одной из таких причин при получении  $\alpha\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$  методом тлеющего разряда из смеси метана и силана является значительная разница энергий диссоциации и ионизации реагентов [4, 5].

Решение этой проблемы с применением принципа „большой мощности“ в реакторе диодного типа приводит к ухудшению качества пленок из-за повреждений бомбардирующими ионами, а также к графитизации при больших концентрациях углерода [6].

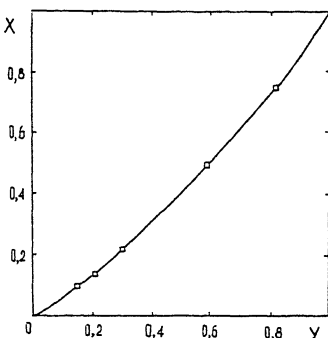
В настоящей работе решение этой проблемы производится одновременным применением следующих методов: а) вынесением подложки из активной зоны плазмы, что предохраняет растущую пленку от повреждений вследствие ионной бомбардировки; б) разностью времен пребывания компонентов (метана и силана) в области плазмы, что приводит к выравниванию степеней разложения этих газов; в) приложением магнитного поля для создания плазмы с высокой концентрацией электронов.

Пленки  $\alpha\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$  наносились на кварцевые и кремниевые подложки, предварительно обработанные в аргоновой плазме. Газовая смесь силан-метан была разбавлена водородом и аргоном. Рабочее давление газа составляло 9 Па. Температура подложки  $T = 200^\circ\text{C}$ . Рабочая частота ВЧ разряда была выбрана равной 75 МГц.

Приведена оптимизация технологических процессов с использованием диагностики интенсивности ионной бомбардировки поверхности растущей пленки и выбраны технологические режимы, при которых энергия ионов бомбардирующих поверхность растущей пленки составляла менее 10 эВ.

Содержание углерода в пленках  $\alpha\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$  определяли методом Оже-спектроскопии, используя кристалл  $\text{SiC}$  как стандартный образец.

Рис. 1. Зависимость содержания углерода ( $X$ ) в пленке  $\alpha\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$  от молярной концентрации метана ( $Y = [\text{CH}_4] / ([\text{CH}_4] + [\text{SiH}_4])$ ) в газовой смеси.



Как видно из рис. 1, в реакторе разработанного типа можно получать режимы, аналогичные по конечному результату режиму высокой мощности в реакторе диодного типа. При этом содержание углерода в пленке почти соответствует фракции метана в метан-силановой газовой смеси.

Измерение края фундаментального оптического поглощения показало увеличение  $E_{\text{опт}}$  с ростом содержания углерода.  $E_{\text{опт}}$ , определенное по формуле Тауца  $(\alpha h\nu)^{1/2} = B(h\nu - E_{\text{опт}})$ , изменяется от 1.75 эВ для кремния до 3.4 эВ для чистого углерода. Константа  $B$  постепенно падает с ростом концентрации углерода, что свидетельствует о трансформации спектра плотности состояний зон пространственных состояний.

Измерения электропроводности показывают, что энергия активации темновой проводимости почти линейно растет с увеличением концентрации углерода, принимая значения 0.75 и 1.6 эВ в крайних точках системы  $X = 0$  и  $X = 1$  соответственно. На рис. 2 приведены зависимости энергии активации темновой проводимости  $E_a$  и  $E_{\text{опт}}$  от состава пленок. Видно, что кривая  $1/2E_{\text{опт}}$  от  $X$  примерно совпадает с кривой  $E_a$  от  $X$ . Отсюда следует, что уро-

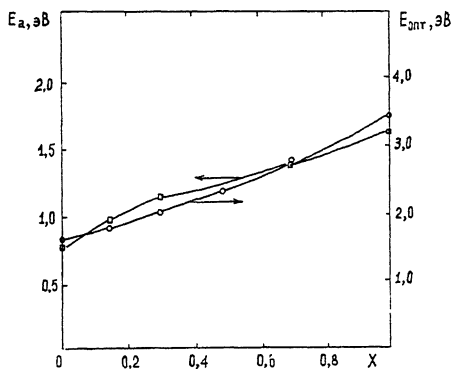


Рис. 2. Зависимость энергии активации темновой проводимости ( $E_a$ ) и оптической ширины запрещенной зоны ( $E_{\text{опт}}$ ) пленок  $\alpha\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$  от содержания углерода ( $X$ ).

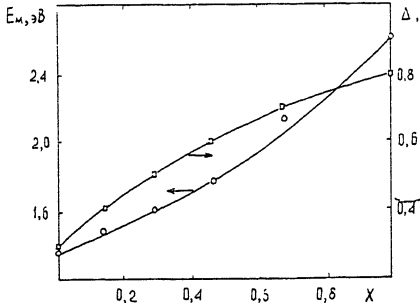


Рис. 3. Зависимость энергетического положения максимума спектров ФЛ ( $E_M$ ) и полуширины ( $\Delta$ ) пленок  $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$  от состава ( $X$ ).

вень Ферми для полученных сплавов  $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$  находится в середине запрещенной зоны.

Исследование фотолюминесцентных свойств системы (рис. 3) показало, что положение спектра ФЛ ( $E_M$ ) плавно смещается от 1.6 до 2.5 эВ, при этом полуширина спектра ( $\Delta$ ) меняется от 0.27 до 0.8 эВ.

Для состава  $X = 0.35$  отношение фотопроводимости к темновой ( $\sigma_f/\sigma$ ) при АМ-1 облучении составляет примерно  $10^2$ . Это обстоятельство явилось основанием для изготовления  $p-i-n$ -фотоэлемента при данном составе. Анализ темновой ВАХ ячейки показывает, что до значений прямого смещения, примерно равного значению встроенного потенциала (1.0 В) механизмом токопрохождения преимущественно является туннельно-прыжковый транспорт по хвостам зон.

Для значений смещения более 1 В наблюдается переход к инжекционным токам, однако с низким значением коэффициента качества ( $n = 2.5$ ) за счет рекомбинации в области базы.

Таким образом, совокупность приведенных данных подтверждает возможность получения широкозонных сплавов  $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$  из силан-метановой смеси с достаточно-высокими оптическими и фотоэлектрическими параметрами.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Намакава Ю., Тоуама Т., Окамото Н. // J. Non-Cryst. Solids. 1989. V. 115. N 1. P. 180-182.
- [2] Тавада Ю., Кондо М., Окамото Н., Намакава Ю. Proc. 15 th IEER Photovoltaic Special Conf., Oreando, Florida, 1981. P. 245-246.

- [3] H a m a k a w a Y., K r u a n g a m D.,  
D e g u c h i M., H a t t o r i Y., T o -  
y a m a T., O k a m o t o H. // Appl. Sur-  
face Science. 1988. V. 33-34. P. 1142-1150.
- [4] B u l l o t J., S c h m i d t M.P. // Phys.  
St. Sol. (b). 1987. V. 143. N 2. P. 345-418.
- [5] H a y a s h i M. Swarm studies and inelastic  
electron-molecule collisions. /Ed. by Lc.Pitchford  
et al., 1987. 167 p.
- [6] T a n a k a M., N i n o m i y a K. et al.,  
J. Jap. Appl. Phys. 1988. V. 27. N 1. P. 14-19.

Физико-технический институт  
им. А.Ф. Иоффе АН СССР,  
Ленинград  
ЛЭТИ им. В.И. Ульянова (Ленина),  
Ленинград

Поступило в Редакцию  
26 мая 1991 г.