

## ТЕРМИЧЕСКАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ ПЛЕНОК $a\text{-Si} : \text{N}$ , ЛЕГИРОВАННЫХ АЗОТОМ

Айвазов А. А., Будагян Б. Г., Приходько Е. Л., Сазонов А. Ю.

Исследуется влияние термообработок на темновую проводимость и плотность нейтральных дефектов пленок  $a\text{-Si} : \text{N}$ , полученных методом тлеющего разряда, в зависимости от содержания азота. Анализируется механизм поведения азота в пленке при различных уровнях его концентрации. Обнаружены увеличение проводимости пленок и повышение их термической стабильности при содержании азота в газовой фазе до  $r = [\text{NH}_3]/[\text{SiH}_4] = 0.20$ . Предполагалось, что внесение азота в этом диапазоне ведет к перезарядке нейтральных дефектов в отрицательно заряженные с образованием пар  $\text{Si}_5^- - \text{N}_4^+$ . Дальнейшее увеличение содержания азота приводит к модификации структуры материала с образованием аморфного нитрида кремния.

Свойства  $a\text{-Si} : \text{N}$ , содержащего различное количество азота, изучались в целом ряде работ [1-6]. Интерес к этим исследованиям отчасти связан с тем обстоятельством, что N, как правило, всегда присутствует в пленке в виде неконтролируемой примеси и оказывает влияние на воспроизводимость свойств материала.

Авторы [1] на основании измерений коэффициента преломления  $n$ , оптической ширины запрещенной зоны  $E_{\text{отт}}$ , темновой проводимости  $\sigma_{300}$  пришли к выводу, что в пленках  $a\text{-Si} : \text{N}$  начиная с некоторой концентрации азота происходит модификация структуры с образованием аморфного нитрида кремния. Концентрация эта зависит от условий приготовления пленок и находится в области  $r = 0.20 \div 0.40$ , где  $r = [\text{NH}_3]/[\text{SiH}_4]$  в газовой фазе. При исследовании пленок с малыми концентрациями азота рядом исследователей был обнаружен максимум  $\sigma_{300}$  в зависимости от содержания азота в пленке [1-3]. В этом же диапазоне концентраций N обнаружен минимум плотности нейтральных дефектов (оборванных связей) [4, 5]. На основании данных ЭПР и фотолюминесценции авторы [4] предположили, что введение азота повышает термическую стабильность пленок  $a\text{-Si} : \text{N}$ .

Однако прямого рассмотрения влияния добавок азота на термическую стабильность пленок  $a\text{-Si} : \text{N}$  до настоящего времени не проводилось. В связи с этим нами исследовалось влияние термообработки на проводимость и плотность дефектов  $a\text{-Si} : \text{N}$ , содержащего различное количество азота.

Пленки  $a\text{-Si} : \text{N}$  толщиной  $\sim 0.3$  мкм были получены методом ВЧ разложения смеси  $\text{SiH}_4 + \text{NH}_3 + \text{H}_2$  в плазме тлеющего разряда при температуре подложки  $220^\circ\text{C}$ , мощности ВЧ разряда  $\sim 0.3$  Вт/см<sup>2</sup>, давлении газовой смеси 50 Па. Величины  $r$  составляли 0.20, 0.64 и 1.11. Содержание N в пленке определялось с помощью электронной оже-спектроскопии. Термообработки образцов проводились при температурах 220 и  $280^\circ\text{C}$  при давлении  $10^{-2}$  Па в течение 30 мин. Измеряли темновую проводимость при комнатной температуре  $\sigma_{300}$  и плотность нейтральных дефектов (методом ЭПР).

Зависимость содержания азота в пленке  $s = \text{N/Si}$  от содержания  $\text{NH}_3$  в газовой фазе  $r$  приведена на рис. 1. Видно, что при отношении  $0.20 < r < 0.64$  наблюдается изменение характера зависимости  $s$  от  $r$ . Аналогичное поведение  $s(r)$  наблюдалось в работе [2]. По-видимому, это связано с процессами, происходящими в структуре пленки и ведущими к образованию  $a\text{-Si}_3\text{N}_4$ .

Результаты исследования влияния добавок азота на проводимость пленок  $a\text{-Si} : \text{H}$  показаны на рис. 2. Наблюдается максимум проводимости при  $r=0.20$ . При дальнейшем увеличении содержания  $\text{NH}_3$  в газовой фазе проводимость  $a\text{-Si} : \text{H}$  убывает. На этом же рисунке представлены результаты исследования влияния термообработок на проводимость пленок  $a\text{-Si} : \text{H}$ . Для нелегирован-

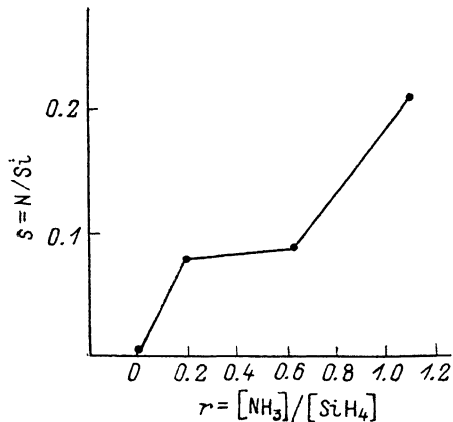


Рис. 1. Зависимость отношения  $\text{N}/\text{Si}$  в пленке  $a\text{-Si} : \text{H}$  от отношения  $\text{NH}_3/\text{SiH}_4$  в газовой фазе.

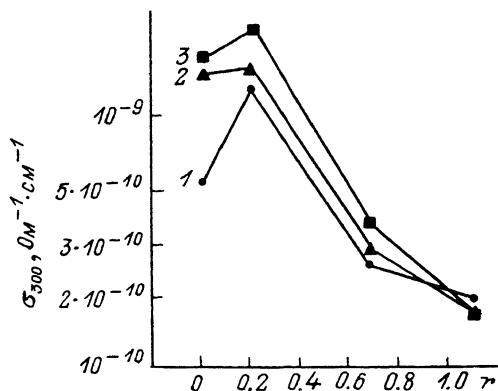


Рис. 2. Зависимость  $\sigma_{300}$  от содержания азота в пленке  $a\text{-Si} : \text{H}$ .

1 — без термообработки; отжиг в течение 30 мин при  $T$ , °C: 2 — 220, 3 — 280.

ного образца термообработки приводят к значительному росту величины проводимости. Однако по мере увеличения содержания азота в пленке влияние термообработок на проводимость образца значительно уменьшается. При  $r=1.11$  разница в значениях проводимости до и после термообработок по сравнению с нелегированным образцом уменьшается в  $\sim 50$  раз.

На рис. 3 показаны результаты исследования плотности оборванных связей, полученные методом ЭПР. Обнаружено, что при увеличении содержания азота в пленке плотность нейтральных оборванных свя-

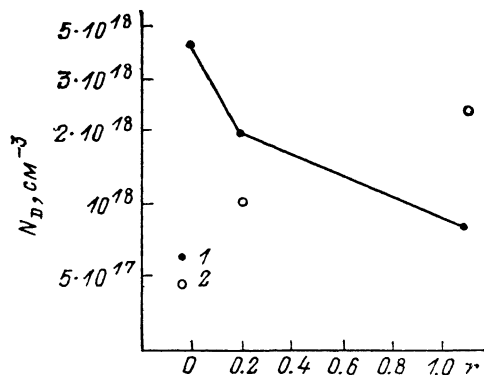


Рис. 3. Зависимость  $N_D$  от содержания азота в пленке  $a\text{-Si} : \text{H}$ .

1 — отжиг при 280 °C в течение 30 мин; 2 — без термообработки.

зей уменьшается. Однако в нелегированном  $a\text{-Si} : \text{H}$  и материале, полученном при  $r=0.20$ , плотность нейтральных оборванных связей при термообработках возрастает, в то время как при большем содержании  $\text{NH}_3$  — падает.

Рассмотрим результаты проведенных исследований. Увеличение содержания азота в области малых концентраций ( $0 < r < 0.20$ ) приводит к повышению проводимости. В этой же области концентраций с ростом добавок азота плотность нейтральных дефектов уменьшается, что согласуется с результатами работы [4]. В [6] показано, что при этом возрастает плотность отрицательно заряженных дефектов ( $D^-$ ). Авторы [6] предположили, что азот ведет себя в пленке, как донорная примесь, создавая комплексы  $\text{Si}_3^- \text{N}_4^+$ . Возникновение донорного уровня может объяснить повышение проводимости при малой концентрации азота. В то же время количество слабых связей  $\text{Si}-\text{Si}$  в материале уменьшается вследствие их взаимодействия с азотом, что, вероятно, и приводит к повышению термической стабильности проводимости  $a\text{-Si} : \text{H}$ .

Снижение проводимости пленок при больших концентрациях азота сопровождается увеличением оптической ширины запрещенной зоны [1, 3, 4] и уменьшением величины показателя преломления [1]. Термообработки такого материала, как показали исследования ЭПР, приводят к снижению плотности  $D^0$ . Уменьшение разброса в значениях  $\sigma_{300}$  до и после термообработок свидетельствует о повышении термической стабильности пленок. Все это приводит к предположению, что данный материал соответствует нестехиометрическому аморфному нитриду кремния.

Таким образом, установлено, что добавки азота до  $r=0.20$  увеличивают проводимость и стабилизируют свойства  $a\text{-Si:H}$ . Дальнейшее увеличение содержания азота ведет к модификации структуры материала с образованием аморфного нитрида кремния.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Herak T. V., McLeod R. D., Kao K. C., Card H. C., Watanabe H., Katoh K., Yasui M., Shibata Y. // J. Non-Cryst. Sol. 1984. V. 69. P. 39—41.
- [2] Kurata H., Hirose M., Osaka Y. // Japan. J. Appl. Phys. 1981. V. 20. N 11. P. L811—L813.
- [3] Dunnett B., Jones D. I., Steward A. D. // Phil. Mag. B. 1986. V. 53. N 2. P. 159.
- [4] Morimoto A., Tsujimura Y., Kumeda M., Shimizu T. // Japan. J. Appl. Phys. 1985. V. 24. N 11. P. 1394—1398.
- [5] Shimizu T., Xu X., Sasaki H., Morimoto A., Kumeda M. // J. Non-Cryst. Sol. 1989. V. 114. P. 648—650.
- [6] Morimoto A., Matsumoto M., Kumeda M., Shimizu T. // Japan. J. Appl. Phys. 1989. V. 29. N 10. P. L1747—L1750.

Московский институт электронной техники

Получена 12.05.1991  
Принята к печати 19.06.1991