

06.3;07

©1994

МНОГОСЛОЙНЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ПЛЕНОК $a\text{-Si:C:H}$ В КАЧЕСТВЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ПРОВОДЯЩИХ ОПТИЧЕСКИХ ЗЕРКАЛ И ФИЛЬТРОВ

Н.А.Феоктистов, Л.Е.Морозова

Современные технологии изготовления пленок аморфного кремния ($a\text{-Si:H}$) и аморфного карбида кремния ($a\text{-Si:C:H}$) позволяют получать материал с широким спектром электрических и оптических свойств [1,2]. Так, изменяя содержание углеродосодержащего компонента в рабочей газовой смеси, возможно изменять величину "оптической" запрещенной зоны от 1.7 до 3.0 эВ, а величину показателя преломления от 4.2 до 1.8. Такой набор оптических параметров дает возможность создать оптические зеркала и фильтры на основе этих материалов, применять их как составную часть фотоэлектрических и оптоэлектрических приборов, использующих аморфные полупроводники. Так например, возможно применение таких зеркал и фильтров для создания заданной спектральной характеристики фотоэлектрических датчиков для люксметрии и цветометрии, для разделения записывающего и считывающего света в оптических модуляторах. К тому же использование легирующих добавок приводит к изменению проводимости пленок на много порядков ($10^{-2} - 10^{-12}$ Ом/см²), [1], вследствие чего многослойные оптические системы на основе пленок $a\text{-Si:C:H}$ могут обладать различной проводимостью, что облегчает их согласование с другими частями фотоэлектрических и оптоэлектрических приборов.

Целью данной работы являлось создание оптических фильтров и зеркал на основе пленок $a\text{-Si:C:H}$ и исследование их оптических и электрических характеристик.

Многослойные структуры изготавливались методом высокочастотного разложения силановых и метановых газовых смесей [3]. Пленки $a\text{-Si:C:H}$ с различным содержанием углерода и, следовательно, различными оптическими и электрическими свойствами, получались вариацией концентрации $K = \text{CH}_4 / (\text{SiH}_4 + \text{CH}_4)$ за счет изменения расходов силановых и метановых газовых смесей. Легирование полученных слоев $a\text{-Si:C:H}$ осуществлялось добавлением газовой смеси,

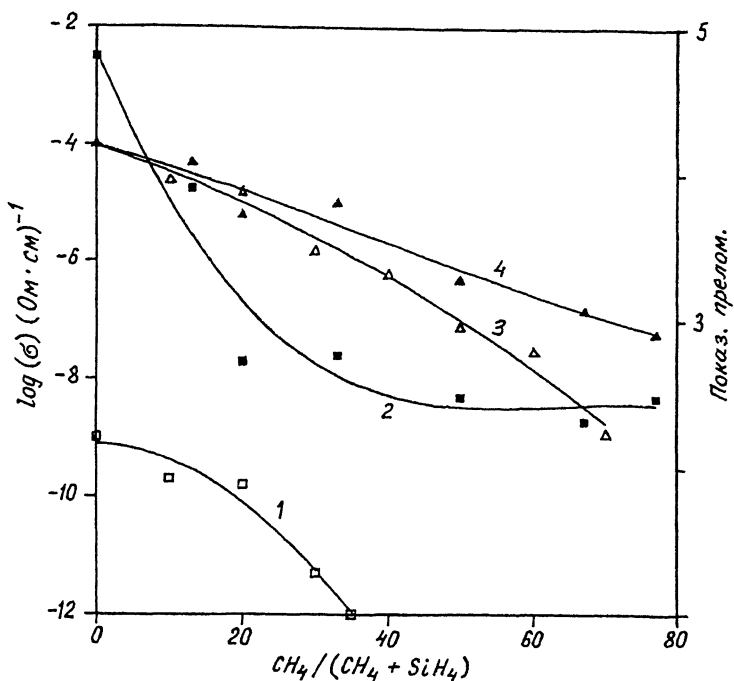


Рис. 1. Зависимости проводимости (σ , кривые 1,2) и показателя преломления (кривые 3,4) пленок a -Si:C:H от концентрации метана ($K = CH_4 / (CH_4 + SiH_4)$) в рабочей смеси. (Кривые 1,3 — для нелегированных слоев; 2,4 — для легированных фосфором).

содержащей фосфин. Толщина слоев составляла величину $\lambda/4n$ (где λ — длина волны в максимуме отражения зеркала, а n — показатель преломления пленки) и контролировалась в процессе роста методом лазерной интерферометрии. Выращивались структуры с чередующимися слоями (толщиной $\lambda/4n$) с высокой и низкой концентрациями углерода в пленках, а также структуры с нечетным количеством слоев, центральный из которых имел удвоенную толщину ($\lambda/2n$). Последние структуры использовались для точного определения коэффициента отражения и для получения узкополосных фильтров.

На рис. 1 представлены зависимости проводимости (σ) и показателя преломления полученных пленок a -Si:C:H от состава газовой смеси, используемой в процессе их изготовления. Для нелегированных пленок a -Si:C:H интервал наблюдаемых изменений n составлял 4.2–2.1 ($\lambda = 0.63$ мкм). Для легированных фосфором пленок этот интервал составляет

несколько меньшую величину (4.2–2.8). Отметим, что с возрастанием содержания углерода в пленках эффективность их легирования падает и для больших $K > 60\%$ проводимость составляла величину не более 10^{-8} – 10^{-9} Ом⁻¹·см⁻¹.

Для получения многослойных систем с лучшими оптическими характеристиками (большим коэффициентом отражения, узкой полосой пропускания) следует использовать материалы с наиболее сильно отличающимися показателями преломления. В этом случае для достижения заданных оптических параметров требуется меньшее число слоев. Поэтому нелегированные пленки a -Si:C:H предпочтительнее для этих целей. Однако в ряде случаев, например, для применения в оптических модуляторах, требуется определенное соотношение продольного и поперечного сопротивления многослойной системы, которое может быть достигнуто применением легированных слоев a -Si:C:H.

В данной работе представлены характеристики многослойных систем на основе легированных пленок a -Si:C:H, используемых как зеркала и фильтры для красного света ($\lambda = 0.6$ мкм) и параметры многослойных систем на основе нелегированных пленок a -Si:C:H, работающих в ближней инфракрасной области спектра ($\lambda = 1 - 1.2$ мкм). Область применения первых систем — разделения считывающего и записывающего света в оптических модуляторах, а вторые использовались для создания эффективных зеркал и узкополосных фильтров.

На рис. 2 даны зависимости измеренных коэффициентов пропускания в минимуме спектральной характеристики ($\lambda = 0.63$ мкм) для систем с легированными слоями a -Si:C:H и расчетные характеристики этих систем, полученных на основе оптических характеристик отдельных слоев. Для 17-слойной структуры получено значение пропускания в минимуме 0.2%. При этом поглощение в системе составило около 1%. Для использования в оптических модуляторах такая система должна обладать максимальным слоевым сопротивлением и минимальным продольным. Это необходимо для увеличения резкости изображения и быстрого действия оптического модулятора. Продольное сопротивление полученных многослойных систем составляло $> 10^{10}$ Ом/квадрат, а поперечное $10^3 - 10^4$ Ом·см² (при напряжении на системе 3–5 В).

Также на рис. 2 представлены экспериментальные точки и расчетные зависимости ширины линии пропускания (на полувысоте линии) фильтра на основе системы с нелегированными слоями a -Si:C:H в области $\lambda = 1.1$ мкм. Эти фильтры представляли собой системы с нечетным числом слоев, причем толщина среднего составляла $\lambda/2n$, а толщи-

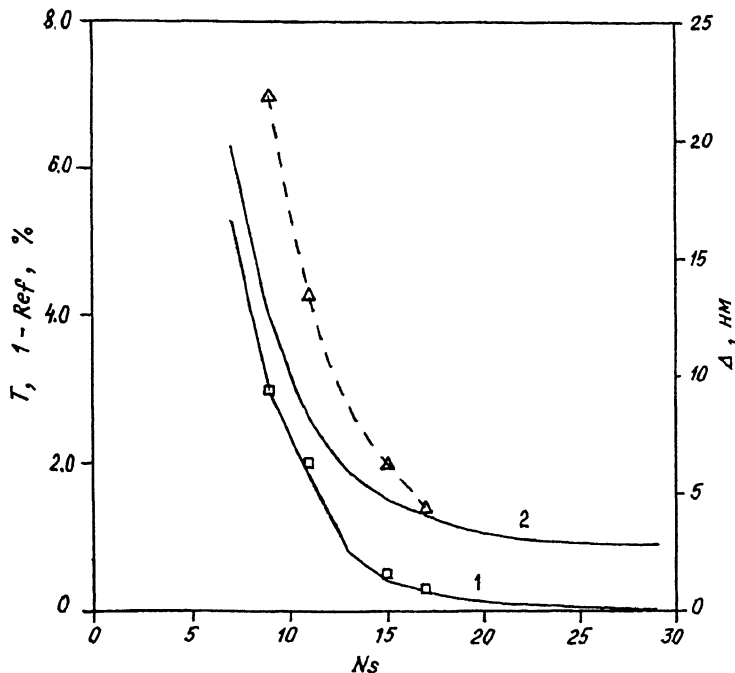


Рис. 2. Зависимости минимального оптического пропускания многослойных систем на основе $a\text{-Si:C:H}$ (\square , $\lambda = 0.63$ мкм) и ширины линии пропускания фильтров (Δ , $\lambda = 1.1$ мкм) от числа слоев системы. Сплошными линиями представлены расчетные зависимости коэффициента пропускания (T , кривая 1) и величины $1-R$ (R -коэффициент отражения, кривая 2), а пунктиром — расчетная зависимость ширины линии пропускания фильтров.

на остальных слоев $\lambda/4n$. Такие системы обладают узкой полосой пропускания с максимумом на длине волны λ . Измеряя коэффициент пропускания в максимуме и ширину линии, можно определить коэффициент отражения системы в том случае, когда он слабо отличается от 1. Получены системы с шириной линии пропускания 4 нм (число слоев 17). На основании этих результатов определен расчетный коэффициент отражения таких систем, который составил 99.98% для 17-слойного зеркала.

Таким образом, на основе пленок $a\text{-Si:C:H}$ получены зеркала с коэффициентом отражения около 99% в красной области спектра, и контролируемым соотношением продольного и поперечного сопротивления, а также узкополосные фильтры и эффективные зеркала в ближней инфракрасной области.

Список литературы

- [1] Аморфные полупроводники и приборы на их основе / Под ред. И.Хамакавы. М.: Металлургия, 1986. 376 с.
- [2] Sotiropoulos J., Weiser G. // J. Non-Cryst. Solids. 1987. N 97-98. P. 1087.
- [3] Жерздев А.В., Карнов В.Г., Певцов А.Б., Пилатов А.Г., Феоктистов Н.А. // ФТП. 1992. Т. 26. С. 750.

Физико-технический
институт им.А.Ф.Иоффе
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию
19 января 1994 г.
