

О НЕКОТОРЫХ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ $a\text{-Si:H}$, ПОЛУЧЕННОГО В ВЫСОКОЧАСТОТНОМ ТЛЕЮЩЕМ РАЗРЯДЕ

И.П. Акимченко, А.А. Гиппиус, А.Н. Каррыев, Д.П. Уткин-Эдин

УДК 621.315.592

Приводятся результаты исследования оптических и фотоэлектрических свойств пленок $a\text{-Si:H}$, полученных в тлеющем разряде. После отжига при 700°C в спектре фотолюминесценции появилась новая полоса с максимумом в области $0,54\text{ эВ}$.

Физические свойства аморфного гидрогенизированного кремния $a\text{-Si:H}$, получаемого путем разложения силана в тлеющем разряде, в значительной мере зависят от ряда параметров процесса: состава газовой смеси, температуры подложки, мощности разряда и других. Поэтому возможно получение пленок, отличающихся не только плотностью локализованных состояний, но и структурной сеткой, в которую могут включаться и неконтролируемые примеси. Известно, что при определенных условиях образуется не однофазная аморфная система, а материал, содержащий микрокристаллиты /1/.

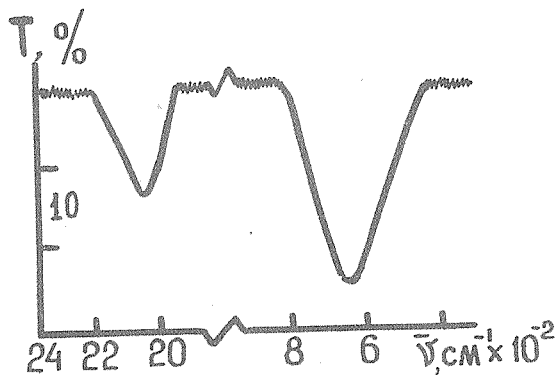
В настоящей работе исследованы пленки $a\text{-Si:H}$, полученные путем осаждения в высокочастотном тлеющем разряде в чистом силане. Некоторые параметры и условия получения пленок приведены в табл. 1. Ширина запре-

Таблица 1.

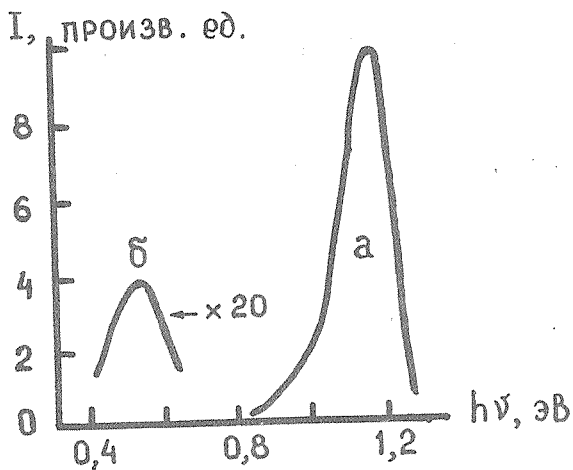
Условия		Параметры	
Состав газа	100% SiH_4	Толщина, мкм	1,7
Подложка	$c\text{-Si}$, кварц	Ширина запрещенной зоны, эВ	1,63
Температура подложки, $^\circ\text{C}$	270	Показатель преломления	3,6
Мощность разряда, Вт	~ 2		

щенной зоны E_g определялась из спектра оптического поглощения в области больших энергий фотонов путем линейной экстраполяции зависимости $(\alpha h\nu)^{1/2} = f(h\nu)$. Полное содержание водорода определялось по спектрам

инфракрасного поглощения в области валентных колебаний связи Si-H $600-700\text{ см}^{-1}$ (рис. 1) и составляет 13 ат. %. Полосы поглощения, обусловленные колебаниями конфигураций Si-H и Si-H₂ (2000 и 2100 см^{-1}), не разрешаются. Однако максимум суммарной полосы лежит при 2030 см^{-1} , что свидетельствует о большей доле связей Si-H, чем Si-H₂. Пленки с удель-



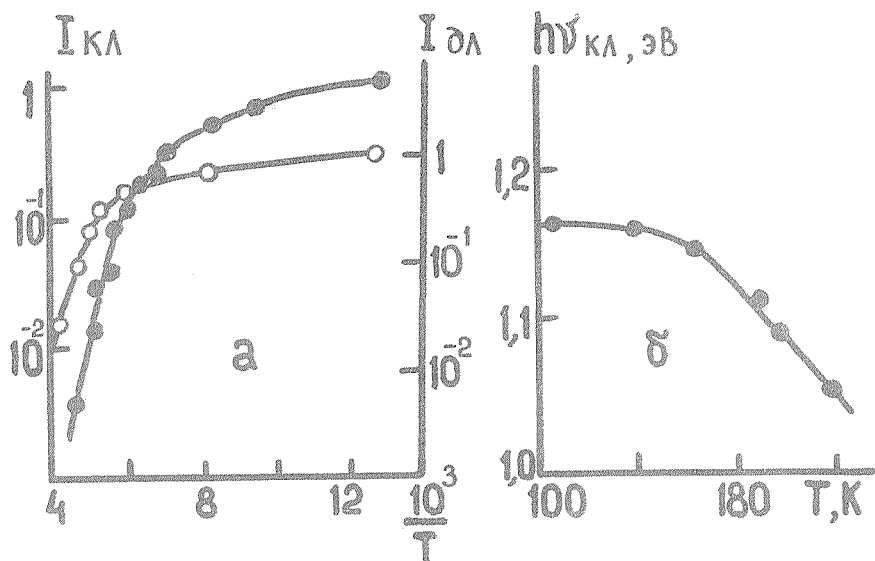
Р и с. 1. Спектр ИК поглощения a-Si:H при 300 К



Р и с. 2. Спектры ФЛ a-Si:H: а) исходного, 77 К; б) после термического отжига ($700\text{ }^{\circ}\text{C}$, 30 мин)

ным сопротивлением $1,5 \cdot 10^9$ Ом-см фоточувствительны, и отношение темного сопротивления к сопротивлению на свету (при освещении рассеянным светом от лампы накаливания мощностью 40 Вт) составляет 10^3 . В спектрах фотопроводимости наблюдаются две области нарастания сигнала. Начало одной лежит при энергиях фотонов 1,18 эВ, а другой — при 1,77 эВ. Низкоэнергетическая область, видимо, связана с переходами электронов с уровня, расположенного вблизи валентной зоны, а нарастание сигнала при 1,77 эВ — с межзонными переходами.

Спектр фотолюминесценции (ФЛ), показанный на рис. 2, кривая а, состоит из симметричной полосы с максимумом при энергии 1,16 эВ шириной на полувысоте 0,13 эВ и слабого "хвоста" в области $\sim 0,9$ эВ. Характер спада интенсивности люминесценции с ростом температуры (рис. 3а) позволяет отнести полосу 1,16 эВ к переходам между состояниями у краев зон (краевая люминесценция (КЛ)), а длинноволновое излучение связать с дефектами типа оборванная связь ("дефектная" люминесценция) [2]. Плотность оборванных связей, оцененная из измерений электронного парамагнитного резонанса, менее $5 \cdot 10^{16}$ см $^{-3}$. Температурная зависимость максимума КЛ представ-



Р и с. 3. а) Температурные зависимости интенсивностей полос краевой $I_{\text{КЛ}}$ (●) и "дефектной" $I_{\text{ДЛ}}$ (○) люминесценции. б) Температурная зависимость энергетического положения максимума полосы КЛ $h\nu_{\text{КЛ}}$ а-Si:H

лена на рис. 36. В области 150-220 К температурный коэффициент смещения КЛ составляет $1,7 \cdot 10^{-3}$ эВ/К, что достаточно близко к значениям $1,8 \cdot 10^{-3}$ и $1,6 \cdot 10^{-3}$ эВ/К, полученным в /2,3/. Особенностью исследованного материала является небольшая ширина полосы КЛ 0,13 эВ по сравнению с обычно наблюдающейся шириной 0,2-0,3 эВ. Ранее узкие полосы в спектре фотолюминесценции наблюдались в пленках микрокристаллического кремния, полученных в тлеющем разряде /4/.

Поэтому можно было бы предположить, что исследованные пленки содержат микрокристаллическую фазу. Однако данные дифракции электронов и рентгенофазовый анализ указывают на наличие в исходных пленках только аморфной фазы. По-видимому, особенности спектра ФЛ (энергетическое положение и ширина КЛ) обусловлены специфическими условиями процесса приготовления.

Термический отжиг (700°C , 30 мин) в вакууме привел к резкому спаду интенсивности ФЛ, уменьшению E_g , содержанию водорода и появлению в спектре ФЛ новой полосы с максимумом в области $\sim 0,54$ эВ (рис. 2, кривая б). Рентгенофазовый анализ показал, что ее появление происходит одновременно с кристаллизацией пленки. На дифрактограмме $\alpha\text{-Si:H}$, подвергнутого отжигу, появились четкие дифракционные линии (111) и (220), что свидетельствует о кристаллизации пленки. Кратко обсудим происхождение полосы 0,54 эВ. В спектрах люминесценции кристаллического кремния, содержащего радиационные дефекты, обычно наблюдается богатое разнообразие, связанное с образованием различных дефектно-примесных комплексов. Например, в кремнии, облученном гамма-квантами, обнаружены две широкие с тонкой структурой люминесцентные полосы в области приблизительно 0,9-0,95 и 0,65-0,8 эВ /5/. Излучение с энергией ниже 0,8 эВ было связано с примесным кислородом. В /6/ люминесценция при 0,49 эВ в кремнии, облученном быстрыми электронами, была отнесена к междоузельному комплексу $\text{C}_1\text{C}_1 + \text{O}_1$. В пленках $\alpha\text{-Si:H}$, кристаллизованных путем высокотемпературного отжига, присутствует много дефектов и, вероятно, тех же остаточных примесей, что и в кристаллическом кремнии. Поэтому можно предположить, что термический отжиг исследованных пленок $\alpha\text{-Si:H}$ привел к образованию дефектно-примесных комплексов, ответственных за появление полосы 0,54 эВ. Возможными компонентами этих комплексов могут быть углерод и кислород.

Таким образом, исследованные в данной работе пленки кремния аморфны, имеют достаточно низкую плотность дефектов ($N \leq 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$), обладают хорошими фотоэлектрическими и люминесцентными свойствами. Присутствие неконтролируемых примесей сказывается в появлении после

высокотемпературного отжига новой люминесцентной полосы в области \sim
 $\sim 0,54$ эВ.

Поступила в редакцию 27 февраля 1984 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. W.E. Spear et al., J. de Physique, 42, C4-257 (1981).
2. R.A. Street, Adv. in Phys., 30, 593 (1981).
3. I.G. Austin et al., J. Non-cryst. Solids, 32, 373 (1979).
4. P.K. Bhat et al., Physica B, 117/118, 917 (1983).
5. A.P.G. Hare, G.Davies, A.T. Collins, J. Physics C, 5, 1265 (1972).
6. В.С. Коноплев, А.А. Гишпиус, Краткие сообщения по физике ФИАН, № 9, 33 (1975).