

УДК 621.315

ОПТИЧЕСКОЕ ПРОПУСКАНИЕ КОМПОЗИТНЫХ ПЛЕНОК SiO_2/GaAs , ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОГО НАПЫЛЕНИЯ

П.Г. ПЕТРОСЯН, Л.Н. ГРИГОРЯН

Ереванский государственный университет

(Поступила в редакцию 25 августа 1998 г.)

Методом лазерного напыления на сапфировых подложках получены композитные пленки SiO_2/GaAs . Исследованы спектры оптического пропускания полученных пленок и показано, что в смеси GaAs/Si арсенид галлия играет роль катализатора и приводит к значительному росту скорости окисления кремния.

В последние годы интенсивно исследуются кремниевые композитные пленки, представляющие собой слои SiO_x , содержащие микрокристаллы полупроводников IV группы. Они имеют интересные оптические и фотоэлектрические свойства и могут быть перспективными материалами для оптоэлектронных приборов на основе кремния [1]. Так, например, в полупроводниковых композитных слоях SiO_2/Si при комнатной температуре было обнаружено электролюминесцентное излучение в видимой области спектра [2]. Механизм такой излучательной рекомбинации, по аналогии с пористым кремнием, часто связывается с размерным квантованием электронного спектра в микрокристаллах Si. Однако из-за непрямозонности кремний является неблагоприятным материалом для излучательной рекомбинации и следует ожидать, что в композитных слоях SiO_2 , содержащих микрокристаллы прямозонного полупроводника, например, арсенида галлия, можно получить более интенсивную фотолюминесценцию в видимой области спектра.

Мы разработали метод получения композитных пленок SiO_2/GaAs с помощью лазерного напыления. В качестве мишени использовались круглые, двухкомпонентные пластинки. Они представляли собой круговые пластинки Si, из которых вырезаны некоторые секторы и замещены такими же секторами из арсенида галлия. Напыление проводилось при различных значениях давления кислорода в распыляемой камере. Слои наносились на сапфировых подложках с ориентацией (1010), при температуре 300°C . Напыление осуществлялось с помощью одномодового твердотельного импульсного лазера ЛОТИ-3 (1,06 мкм). Частота повторения импульсов составляла 15 Гц, а энергия излучения равнялась 0,2 Дж. Спектры пропускания полученных пленок исследовались в диапазоне от 200 до 1000 нм, с помощью оптического универсального вычислительного комплекса КСВУ-23. Толщина пленок составляла 0,7-1 мкм.

Ранее нами было показано, что с помощью лазерного напыления кремния можно получить нестехиометрические слои SiO_x [3]. Степень нестехиометрии этих пленок легко можно было регулировать изменением давления кислорода в вакуумной камере. Поскольку арсенид галлия менее активен к взаимодействию с кислородом, то можно ожидать, что при одновременном распылении Si и GaAs в атмосфере кислорода можно получить слои композитного материала SiO_x/GaAs . Дальнейшее окисление SiO_x до SiO_2 можно осуществлять термообработкой в воздухе. А количественным содержанием GaAs в получаемой пленке можно легко управлять путем подбора состава используемой мишени.

Для сравнения и оценки влияния различных технологических режимов на процессы осаждения и окисления мы сначала отдельно исследовали рост и свойства однокомпонентных пленок кремния или арсенида галлия, полученных при давлении остаточного газа $P = 2 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст. и подвергнутых термообработке в воздухе различной длительностью. Чтобы исключить возможные структурные изменения в пленке, могущие иметь место при их термической обработке в воздухе, осажденные пленки были заранее термообработаны в вакууме при более высоких температурах. Анализ спектров пропускания пленок показал, что с ростом времени термического отжига происходит увеличение прозрачности пленок в спектральном диапазоне от 700 до 1000 нм, что может быть связано только с увеличением степени окисления Si в пленке. Такой вывод соответствует и нашим прежним исследованиям скорости окисления Si при различных давлениях кислорода в камере [3]. Однако следует иметь в виду, что когда в камере присутствует кислород, скорость окисления Si намного больше, чем в случае термообработки в воздухе, так как реагирующие атомы кремния и кислорода в этом случае находятся в непосредственной области плазмы.

Присутствие кислорода в камере роста может также влиять на рост пленок арсенида галлия. Нами были исследованы спектры пропускания пленок GaAs, выращенных на сапфировых подложках. В спектрах пропускания пленок GaAs, не подвергнутых термическому отжигу, не наблюдается граница резкого роста поглощения, что, на наш взгляд, свидетельствует о кристаллическом несовершенстве получаемых пленок. Такой спектр пропускания характерен для всех неупорядоченных, в том числе сильно легированных образцов GaAs [4], у которых в запрещенной зоне образуются "хвосты" плотности локализованных состояний. Ситуация коренным образом меняется после высокотемпературной вакуумной термообработки образцов. В спектре пропускания уже наблюдается граница резкого роста, соответствующая запрещенной зоне GaAs. Поэтому можно прийти к заключению, что высокотемпературная вакуумная термообработка приводит к образованию более упорядоченной кристаллической структуры GaAs. Если же термическую обработку выполнить в воздухе или же в атмосфере кислорода, то указанные выше структурные изменения будут сопровождаться также и процессами окисления, однако, сравнение спектров пропускания показывает, что они практически не отличаются друг от друга. Поэтому можно предположить, что пленки из арсенида галлия слабо взаимодействуют с кислородом.

На рис.1 представлены спектры пропускания композитных пленок, полученных с использованием мишени, у которой отношение площадей секторов из GaAs и Si составляет 1:3. Образцы были подвергнуты термической обработке в вакууме ($2 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст.) при температуре $T=600^\circ\text{C}$. Как видно, с увеличением продолжительности термической обработки изменение спектров пропускания прекращается, что свидетельствует о прекращении и структурных превращений в пленке. После указанной вакуумной термообработки образцы отжигались уже в воздухе в течение 20 мин. при той же температуре. Несмотря на кратковременность отжига прозрачность пленок в области от 300 до 900 нм резко увеличивается (рис.1, кривая C1-3). Такое изменение прозрачности пленки естественно связывать с процессами окисления в воздухе основной составляющей композитной пленки, т.е. с тем, что Si превращается в SiO_2 . Так как окисление пленки по сути дела есть диффузионный процесс, то трудно ожидать, что кремний в состоянии так быстро окисляться. Об этом косвенно свидетельствует и тот факт, что при кратковременных термообработках в воздухе пропускание пленок из кремния практически не меняется. Можно заключить, что, на наш взгляд, в смеси GaAs/Si арсенид галлия играет роль катализатора и приводит к заметному росту скорости окисления кремния. Исследование же пленок под микроскопом показало, что в них действительно наблюдаются мелкие непрозрачные области, которыми могут быть включения из GaAs. Однако их объемная доля очень мала и поэтому они не проявляются заметным образом в спектрах пропускания.

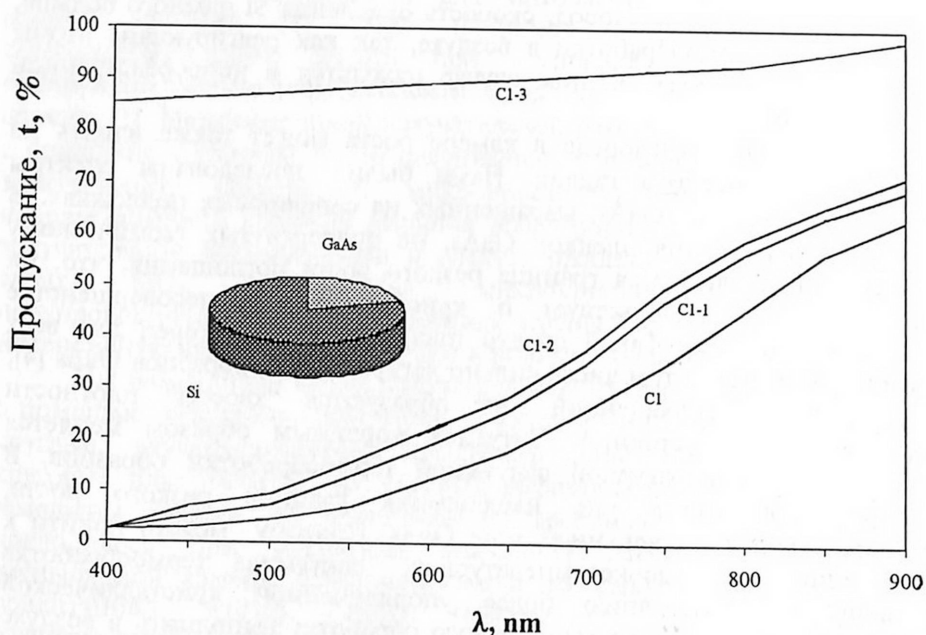


Рис.1. Спектры пропускания пленки SiO_x/GaAs . (Источник: 1/4 часть – GaAs, 3/4 часть Si). C1 – до термообработки; C1-1 – после термообработки в вакууме $P=2 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст., при $T=600^\circ\text{C}$, время термообработки 30 мин; C1-2 – после термообработки в вакууме $P=2 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст. при $T=600^\circ\text{C}$, время термообработки 1,5 часа; C1-3 – после термообработки в воздухе при $T=600^\circ\text{C}$, время термообработки 20 мин.

В пользу образования матрицы из SiO_2 свидетельствуют также и измерения спектров пропускания пленок в ультрафиолетовой области спектра. Как видно из рис.2, в диапазоне 200-300 нм наблюдается провал в спектре пропускания, что может быть обусловлено только собственным поглощением широкозонных слоев SiO_x ($x \approx 2$).

Для подтверждения этого вывода мы увеличили процентное содержание арсенида галлия в композитной пленке путем выбора новой мишени, у которой отношение площадей секторов из GaAs и Si составляло 1:1. Эти пленки подвергались такой же термической обработке в воздухе, как предыдущие. После термообработки спектр пропускания такой пленки сравнивается со спектром пропускания пленок GaAs, также подвергнутых термообработке. Такое сравнение показывает, что эти спектры практически не отличаются друг от друга, а это означает, что поглощение композитных пленок Si/GaAs, подвергнутых термообработке в воздухе, обусловлено только включениями из GaAs. В свою очередь, это может произойти только в том случае, если в данном спектральном диапазоне Si становится прозрачным, т.е. окисляется.

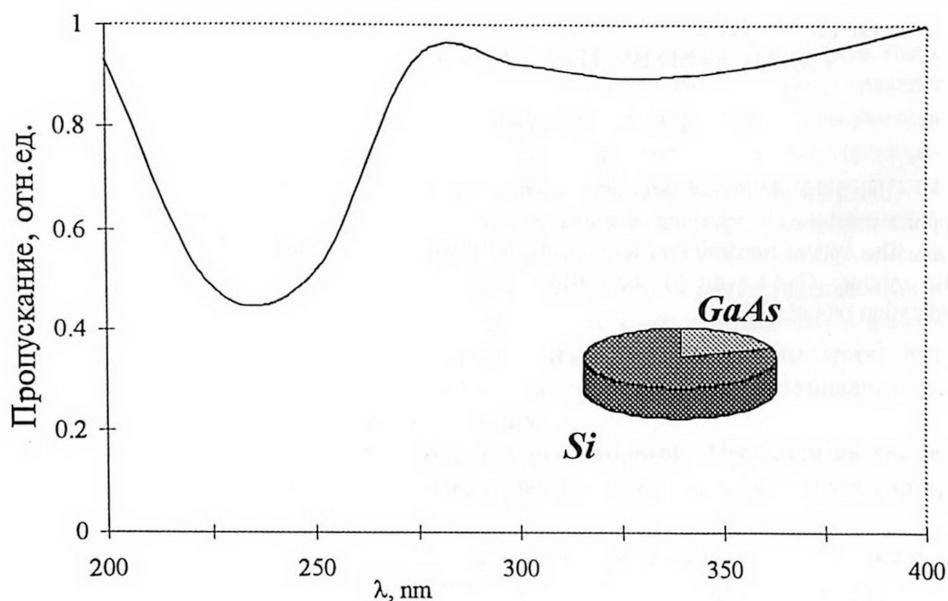


Рис.2. Ультрафиолетовый спектр пропускания пленки SiO_x/GaAs , подвергнутой термической обработке в воздухе при $T=600^\circ\text{C}$, в течение 20 мин.

Таким образом, обобщая результаты проведенных исследований, можно утверждать, что с помощью лазерного распыления можно получить композитные пленки SiO_2/GaAs . Показано, что в смеси Si/GaAs арсенид галлия играет роль катализатора и приводит к значительному росту скорости окисления кремния.

Авторы выражают благодарность С.Г.Петросяну за обсуждение результатов работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. M.Zacharias, P.M.Fauchet. Appl. Phys. Lett., **71**, 380 (1997).
2. В.Г.Бару, С.А.Терешин, В.И.Покалякин, М.И.Елинсон, Г.В.Степанов. Микроэлектроника, **22**, вып.3, 20 (1993).
3. Г.А.Варданян, П.Г.Петросян, Л.Н.Григорян. ФТП, **28**, 1901 (1994).
4. Арсенид галлия: получение, свойства и применение. М., Наука, 1977.

ԼԱՁԵՐԱՅԻՆ ՓՈՇԵՅՐՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿՈՎ ՍՏԱՅՎԱԾ SiO_2/GaAs
ԿՈՄՊՈԶԻՏ ԹԱՂԱՆԹՆԵՐԻ ՕՊՏԻԿԱԿԱՆ ԹՈՂԱՆՑՄԱՆ ՍՊԵԿՏՐԸ

Պ.Գ.ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Լ.Ն.ԳՐԻԳՐՅԱՆ

Լազերային փոշեցրման եղանակով շափյաղե տակդիրների վրա ստացվել են SiO_2/GaAs կոմպոզիտ քաղանքներ: Ուսումնասիրվել են ստացված քաղանքների օպտիկական քաղանցման սպեկտրները: Ցույց է տրված, որ գալիումի արտենիդը GaAs/Si խառնուրդում կատարում է կատալիզատորի դեր և բերում է սիլիցիումի օքսիդացման արագության կտրուկ մեծացման:

OPTICAL TRANSMISSION OF COMPOSITE FILMS OF SiO_2/GaAs
FABRICATED BY THE METHOD OF LASER DEPOSITION

P.G. PETROSYAN, L.N. GRIGORYAN

Using the method of laser deposition, composite films of SiO_2/GaAs have been grown on sapphire substrates by spraying of Si and GaAs in a vacuum beforehand, and then annealing them in air. The optical transmission spectra of the films were measured and it is shown that in the solid mixture GaAs with Si the gallium arsenide plays a catalytic role and increases the oxidization rate of silicon.