

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ИЗБЫТОЧНЫХ АТОМОВ АЗОТА НА ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЮ ПЛЕНОК АМОРФНОГО НИТРИДА КРЕМНИЯ

Д. ф.-м. н. Ф. Ф. Комаров¹, к. т. н. В. А. Солодуха², к. т. н. Н. С. Ковальчук²,
к. ф.-м. н. Л. А. Власукова¹, И. А. Романов¹, В. В. Пилько¹

¹Белорусский государственный университет; ²ОАО «ИНТЕГРАЛ»
Республика Беларусь, г. Минск
7033696@mail.ru

Пленки SiN_x с высоким содержанием азота получены методом плазмохимического осаждения из смеси моносилана и аммиака. После осаждения проведен высокотемпературный отжиг сформированных пленок. Показано, что отожженные пленки нитрида кремния характеризуются полосой фотолюминесценции в диапазоне 400 — 650 нм. Наблюдается сдвиг спектра фотолюминесценции в длинноволновую область при увеличении содержания атомов кремния.

Ключевые слова: нитрид кремния, фотолюминесценция, высокотемпературный отжиг.

Нитрид кремния является одним из основных материалов кремниевой микроэлектроники. В последнее время интерес привлекают люминесцентные свойства нестехиометрического нитрида кремния (SiN_x) в связи с перспективами создания источника света, совместимого с кремниевой технологией. Большинство опубликованных работ посвящено изучению фотолюминесценции (ФЛ) нестехиометрического SiN_x с избытком кремния. Природа люминесценции в нитриде кремния до сих пор окончательно не выяснена. Одни исследователи объясняют свечение аморфных слоев SiN_x с привлечением модели краевой люминесценции [1, 2], другие — излучением кремниевых кластеров, вкрапленных в матрицу нитрида [1]. Целью нашей работы было исследование излучательных свойств нитрида кремния, обогащенного азотом.

Пленки аморфного нитрида кремния различного химического состава осаждались на кремниевые подложки методом плазмохимического осаждения из газовой фазы из смеси моносилана и аммиака при температуре 350°C. Соотношение потоков реагирующих газов SiH₄/NH₃ варьировалось в пределах 2 — 1/2 для трех исследуемых образцов.

Для анализа распределения элементов по глубине нитридных слоев использовался метод рэзерфордского обратного рассеяния (РОР) ионов He⁺ с энергией 1,5 МэВ. Образцы дополнительно отжигались в атмосфере аргона при температуре 1000°C в печи сопротивления в течение 15 мин. Спектры фотолюминесценции регистрировались при комнатной температуре с использованием дифракционного монохроматора, ФЭУ и He–Cd-лазера с длиной волны возбуждения 325 нм.

Для стехиометрического нитрида кремния Si₃N₄ параметр x , определяющий соотношение количества атомов N и Si, равен 1,33, что соответствует 42,9 ат.% Si и 57,1 ат.% N. Если известен параметр x , можно рассчитать избыточную долю кремния или азота в нитридном слое по сравнению со стехиометрическим составом. Результаты РОР показали наличие избыточного азота в нитридных пленках всех образцов. В таблице приведены рассчитанные из данных РОР значения параметра x и избытка азота исходных пленок SiN_x.

Параметры исходных пленок образцов SiN_x

Образец	SiH ₄ /NH ₃	x	Si, ат. %	N, ат. %	Избыток N, ат. %
SiN _{1,63}	2,0	1,63	38	62	11
SiN _{1,78}	1,7	1,78	36	64	16
SiN _{1,94}	0,5	1,94	34	66	21

В исходных образцах люминесценция не наблюдалась, а после отжига появилась широкая полоса ФЛ в диапазоне от 400 до 650 нм (рис. 1, а). По мере увеличения концентрации кремния в пленках SiN_x наблюдается сдвиг спектра ФЛ в длинноволновую область. На рис 1, б приводятся зависимости положения максимумов ФЛ от концентрации Si в пленках SiN_x , полученные в настоящей работе и авторами [2].

При проведении анализа спектров ФЛ пленок SiN_x , обогащенных кремнием, многие авторы объясняют сдвиг спектра в длинноволновую область увеличением размеров кремниевых нанокластеров. Однако для нитрида кремния, содержащего избыточные атомы азота, образование кремниевых нанокластеров маловероятно. В нашем случае такой сдвиг спектра ФЛ можно объяснить уменьшением ширины запрещенной зоны аморфного нитрида кремния при увеличении концентрации атомов кремния [1].

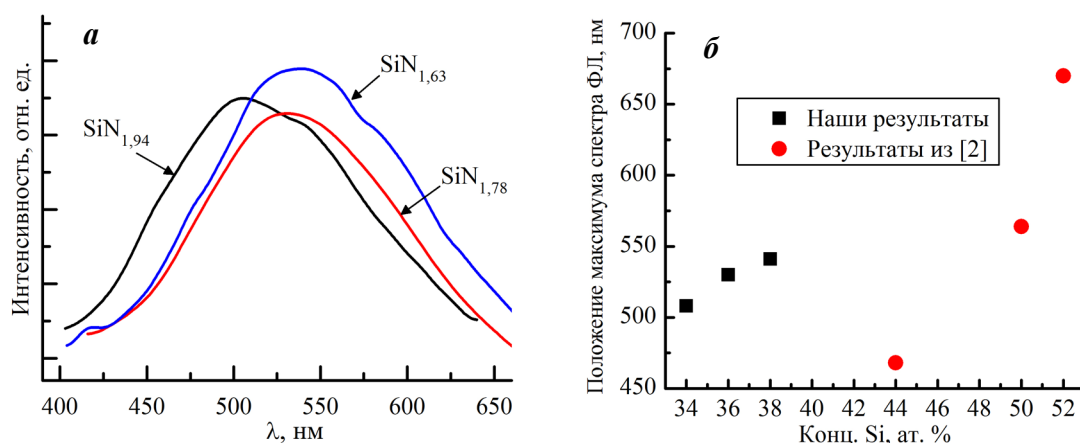


Рис. 1. Спектры ФЛ (а) и зависимость положения пика спектра ФЛ от концентрации кремния (б) пленок SiN_x , отожженных при 1000°C в течение 15 мин

Таким образом, проведенные исследования позволили установить, что пленки нитрида кремния, содержащие 11 — 21% избыточных атомов азота и отожженные при температуре 1000°C , характеризуются широкой полосой фотолюминесценции в диапазоне 400 — 650 нм. Из сравнения спектров фотолюминесценции полученных образцов сделан вывод, что сдвиг спектра в длинноволновую область по мере увеличения концентрации кремния в пленке обусловлен уменьшением ширины запрещенной зоны аморфного нитрида кремния.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Kistner J., Chen X., Weng Y., Strunk H.P., Schubert M.B., Werner J.H. Photoluminescence from silicon nitride — no quantum effect // Journal of Applied Physics.— 2011.— Vol. 110.— P. 023520
2. Kato H., Kashio N., Ohki Y. Band-tail photoluminescence in hydrogenated amorphous silicon oxynitride and silicon nitride films // Journal of Applied Physics.— 2003.— Vol. 93, iss. 1.— P. 239.

F. F. Komarov, V. A. Soloduha, N. S. Kovalchuk, L. A. Vlasukova, I. A. Romanov, V. V. Pilko
Nitrogen excess effect on the photoluminescence of amorphous silicon nitride films

The N-rich silicon nitride films were deposited by plasma enhanced chemical vapor deposition. Broad photoluminescence (PL) band was observed in the range of 400–650 nm for annealed N-rich SiN_x films. A shift in the photoluminescence spectrum to the long-wavelength region is observed with an increase in the silicon atom content.

Keywords: silicon nitride, photoluminescence, high-temperature annealing.