

цию операторов вручную, результат свидетельствует, что использование методики автоматического поиска наилучшей комбинации оправдывает себя и может использоваться для более сложных конфигураций ГА и параметров, применяемых для решения трудных задач.

К перспективным направлениям исследований можно отнести поиск наилучшей конфигурации мета-ГА и обнаружение каких-либо закономерностей и зависимостей значений параметров от вида решаемой задачи. [2, с. 131]

### Литература

1. Цой Ю.Р., Спицын В.Г., Генетический алгоритм / Спицын В.Г., Цой Ю.Р. Представление знаний в информационных системах: учебное пособие. - Томск: Изд-во ТПУ, 2006г.
2. Mitchell M., An introduction to genetic algorithms / M. Mitchell. – 5-е изд. – Cambridge: The MIT Press, 1999

## ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ ОТЖИГОВ НА ОПТИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЛОЕВ $\text{SiN}_x$

И. А. Романов

### ВВЕДЕНИЕ

Интерес к изучению свойств нестехиометрического нитрида кремния с избытком кремния ( $\text{SiN}_x$ ,  $x < 4/3$ ) обусловлен возможностью его применения в оптоэлектронных устройствах, как материала способного проявлять фото- и электролюминесценцию, а так же в устройствах энергонезависимой памяти, как материала, способного локализовать электроны и дырки с большим временем удержания (более 10 лет при 400 К) [1, 2]. Оптические свойства пленок  $\text{SiN}_x$  зависят не только от параметра «x», определяющего общее количество избыточного кремния, но и от того, в каком виде избыточный кремний находится в пленке – в кластерах или случайным образом распределен по атомной сетке [1].

Интенсивная фотолюминесценция (ФЛ) слоев  $\text{SiN}_x$  наблюдалась в [1, 3, 4]. Данная ФЛ приписывалась к люминесценции нанокластеров кремния (Si-НК) и излучательных переходах между энергетическими уровнями дефектов. Термические отжиги пленок нитрида с избытком кремния приводят к собиранию избыточного кремния в кластеры, уплотнению структуры нитрида. В работах [1, 3] сообщалось об интенсивной фотолюминесценции в пленках нитрида кремния с аморфными нанокластерами кремния. Отмечалось, что с увеличением размеров Si-НК наблюдается сдвиг максимума ФЛ в длинноволновую область. Меха-

низм проводимости  $\text{SiN}_x$  в слабых электрических полях ( $<10^3$  В/см) описывается эффектом Френкеля, в сильных – многофононным механизмом [2]. На проводимость нитрида влияет концентрация ловушек захватывающих электроны и дырки. В качестве электронных и дырочных ловушек могут выступать оборванные кремниевые и азотные связи, а также аморфные кластеры кремния.

Цель работы – исследовать влияние высокотемпературного отжига на оптические и электрофизические свойства нитрида кремния, обогащенного кремнием.

В настоящей работе пленка  $\text{SiN}_x$  осаждалась на подложку Si n-типа с кристаллографической ориентацией (100) методом плазменно-стимулированного газофазного осаждения из смеси моносилана ( $\text{SiH}_4$ ) и аммиака ( $\text{NH}_3$ ) при температуре 300 С. Соотношение парциальных давлений газов составляло  $\text{SiH}_4/\text{NH}_3=1/3$ . Толщина пленки измерялась методом эллипсометрии. Концентрация кремния и азота по глубине в пленке  $\text{SiN}_x$  определялась методом Резерфордского обратного рассеяния (РОР). После осаждения часть вырезанных из подложки с нитридной пленкой образцов отжигалась в атмосфере азота при температурах 800, 900 и 1100°C в печи сопротивления в течение часа. Химический состав пленок определялся методом комбинационного рассеяния света (КРС). Спектры фотолюминесценции (ФЛ) возбуждались при комнатной температуре He-Cd лазером с  $\lambda_{\text{возб.}}=325$  нм. Для проведения электрофизических измерений к исходной и отожженным структурам  $\text{SiN}_x/\text{Si}$  методом магнетронного осаждения были нанесены прозрачный электрод из ИТО и алюминиевый контакт со стороны подложки. Вольт-амперные характеристики (ВАХ) структур ИТО/ $\text{SiN}_x/\text{Si}/\text{Al}$  снимались в условиях затенения и при облучении монохроматическим светом с длиной волны 631 нм.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Толщина пленки  $\text{SiN}_x$  составила ~100 нм. методом РОР в нитридном слое обнаружен избыток кремния в количестве 7 ат. % по сравнению со стехиометрией. Стехиометрический параметр  $x$  равен 1.0. Методом КРС в исходных пленках регистрируются водородные связи Si–H и N–H. отжиг при 800°C приводит к разрыву водородных связей и удалению водорода из пленок нитрида. Существует предположение, что водород пассивирует оборванные связи, которые являются безызлучательными дефектами, тем самым положительно влияет на процесс ФЛ [1].

На рис. 1 представлены спектры ФЛ образцов отожженных при 900°C и 1100°C. ФЛ до отжига не наблюдалась.

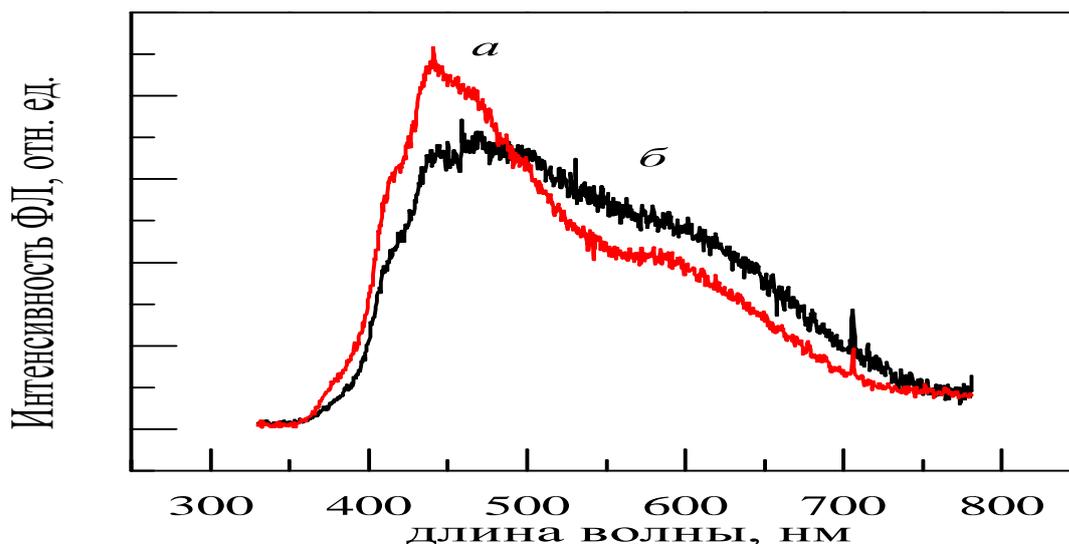


Рис. 1. Спектры фотолюминесценции образцов  $\text{SiN}_x/\text{Si}$ :  
*а* – после отжига при  $900^\circ\text{C}$ , *б* – после отжига при  $1100^\circ\text{C}$

Широкую полосу ФЛ можно рассматривать как результат наложения набора полос с максимумами при 410, 500, 590 нм. Полоса в области 500 нм связана с рекомбинацией между энергетическим уровнем  $\text{K}^0$  – центра ( $\equiv\text{Si}^0$  оборванная связь) и уровнями кремний-кремниевых связей [4]. Голубая полоса (410 нм) обусловлена рекомбинацией между зоной проводимости и уровнем дефекта  $\text{N}_2^0$  или валентной зоны и уровнем  $\text{N}_4^+$  [4]. Полоса в области  $\sim 590$  нм может быть связана со свечением от кремниевых кластеров. Более высокотемпературный отжиг при  $1100^\circ\text{C}$  приводит к уменьшению интенсивности ФЛ, обусловленной оборванными связями. Это подтверждает процесс образования Si–N связей после термических обработок.

На рис. 2 представлены вольт-амперные характеристики структур ИТО/ $\text{SiN}_x$ /Si/Al с исходной и отожженных при  $800$  и  $1100^\circ\text{C}$  пленками нитрида. Прямая ветвь ВАХ соответствует подаче на ИТО отрицательного потенциала. Из ВАХ видно, что проводимость пленки увеличивается после температурных отжигов. Увеличение проводимости после отжига можно связать с уменьшением концентрации ловушек в нитриде кремния. Причем обратная ветвь ВАХ не изменяется после первого отжига при температуре  $800^\circ\text{C}$ . Это говорит о том, что в запрещенной зоне нитрида все еще содержится большое количество ловушек, способных захватывать инжектированные из кремния электроны [2, 5]. В качестве ловушек захвата могут выступать аморфные кластеры кремния, оборванные кремниевые (К-центры) и азотные (N-центры) связи.

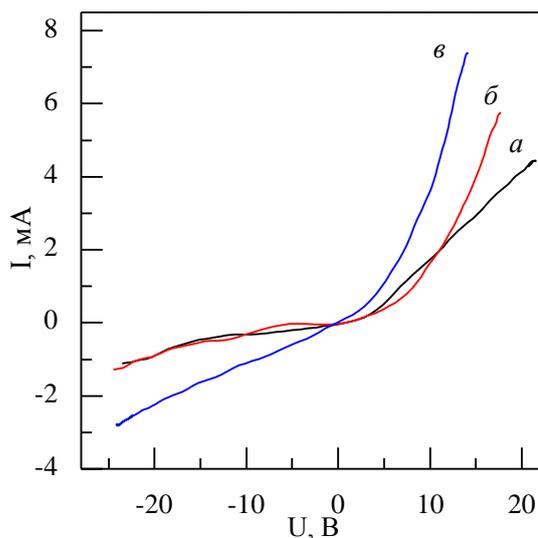


Рис. 2. ВАХ структур ITO/SiNX/Si/Al: а – исходная пленка SiNX, б – отожженная при 800°C SiNX, в – отожженная при 1100 °C SiNX

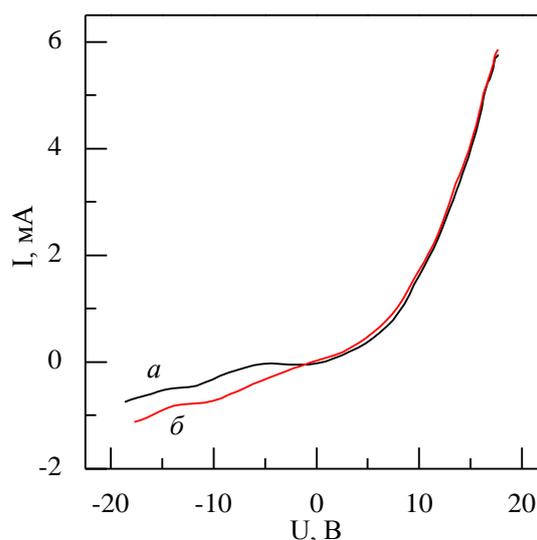


Рис. 3. ВАХ структур ITO/SiNX/Si/Al с отожженной при 800°C пленкой SiNX: а – темновая, б – с засветкой

На рис. 3 представлена ВАХ структуры ITO/SiN<sub>x</sub>/Si/Al с отожженной пленкой нитрида при 800°C в условиях затенения и засветки. При засветке структуры наблюдается появление фототока в обратной ветви ВАХ. Переброс носителей с нижних энергетических уровней на верхние приводит к уменьшению потенциального барьера для электронов, инжектируемых из кремния. В запрещенной зоне нитрида в качестве нижних энергетических уровней могут выступать энергетические уровни дефектов и уровни кластеров кремния, встроенных в нитрид.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Термический отжиг нитрида при 900°C приводит к появлению ФЛ, которую можно связать с излучением от нанокластеров кремния и излучательным переходом между энергетическими уровнями дефектов нитрида. Отжиги при 900 – 1200°C приводят к увеличению проводимости нитрида кремния, что говорит о кристаллизации аморфных кластеров кремния и уменьшению концентрации К- и N-центров. Фоточувствительность структур ITO/SiN<sub>x</sub>/Si/Al к красному свету предполагает наличие энергетических уровней с энергией перехода < 1.9 эВ, расположенных в запрещенной зоне нитрида.

## Литература

1. Корчагина Т. Т., Марин Д. В., Володин В. А., Попов А. А., Vergnat M. Структура и оптические свойства сформированных с применением низкочастотного плазمو-

- химического осаждения пленок  $\text{SiN}_x\text{:H}$ , содержащих нанокластеры кремния // Физика и техника полупроводников, 2009. Т. 43, С. 1557.
2. *Насыров К. А., Гриценко В. А., Новиков Ю. Н., Гриценко Д. В., Ли Д. В.* Механизм переноса заряда в нитриде кремния: эффект Френкеля, или многофононный механизм ионизации ловушек // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена, 2005, Т. 5, С. 147 – 153.
  3. *Kim T. W., Cho C. H., Kim B. H., Park S. J.* Quantum confinement effect in crystalline silicon quantum dots in silicon nitride grown using  $\text{SiH}_4$  and  $\text{NH}_3$  // Appl. Phys. Lett., 2006. Vol. 88. P. 123102-1–123102-3.
  4. *Sahu Bh.Sh., Delachat F., Slaoui A., Carrada M., Ferblantier G., Muller D.* Effect of annealing treatments on photoluminescence and charge storage mechanism in silicon-rich  $\text{SiN}_x\text{:H}$  films // Nanoscale Res. Lett., 2011. Vol. 6. P. 178–188.
  5. *Pei Z., Chang Y. R., Hwang H. L.* White electroluminescence from hydrogenated amorphous- $\text{SiN}_x$  thin films // Appl. Phys. Lett., 2002. Vol. 80. P. 2839 – 2841.

## РАСПРАЦОЎКА АЛГАРЫТМАЎ АНАЛІЗА ДВУХКАНАЛЬНЫХ БІЯЧЫПАЎ ДНК

**А. С. Свідрыцкі**

### 1. УСТУП

Біячыпы — гэта адзін з найновых прылад біялогіі і медыцыны 21 стагоддзя, якія ўяўляюць сабой мікраматрыцы, у ячэйках якіх размяшчаюць біялагічныя мікрааб'екты для даследвання. Вынайдзены біячыпы былі ў канцы 90-х гадоў у ЗША і Расіі. У наш час яны актыўна вырабляюцца некалькімі амерыканскімі біятэхналагічнымі фірмамі. Вырабляюць біячыпы таксама і ў Расіі, у Цэнтры біялагічных мікрачыпаў Інстытута малекулярнай біялогіі РАН [11].

Даследчыкі ва ўніверсітэтах і ў фармакалагічных фірмах праводзяць на чыпах адначасны аналіз працы тысяч і дзясяткаў тысяч генаў і параўноўваюць экспрэсію гэтых генаў у здравых і ў ракавых клетках. Такія даследаванні дапамагаюць ствараць новыя лекавыя прэпараты і хутка высвятляць, на якія гены і якім чынам гэтыя лекі ўплываюць [11].

Аднак аналіз біячыпаў патрабуе пастаяннага удасканалення алгарытмаў для больш якаснага вымання інфармацыі з дадзеных [1, 2].

Важным этапам з'яўляецца распрацоўка алгарытма аналізу менавіта выяваў біячыпаў [7]. Вялікая колькасць даследаванняў праводзіцца дзеля кантролю якасці спотаў мікраматрыцаў, уключаючы фільтрацыю [1], працэдуру нармалізацыі [5], карэкцыю прапушчаных значэнняў [5, 8], параўнанне розных алгарытмаў ацэнкі якасці плямаў [3]. Аднак, усё яшчэ бракуе адзінай і стандартызаванай методыкі для аналізу выяваў мікраматрыцаў з дапамогай прасунутых аўтаматызаваных алгарытмаў, што запавольвае актыўнае ўкараненне біячыпаў для вырашэння праблемаў біялогіі і медыцыны.