

©1994 г.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ПАРАМЕТРОВ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ НА ОСНОВЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛЕНОК a -Si:H

И.А. Попов, Л.Д. Назарова

Московский энергетический институт,
105935, Москва, Россия
(Получена 24 ноября 1993 г. Принята к печати 9 декабря 1993 г.)

Исследуется возможность прогнозирования стабильности параметров тонкопленочных транзисторов на основе измеряемых фундаментальных характеристик пленок аморфного гидрогенизированного кремния. Показано, что такая оценка может быть проведена на основе системы параметров a -Si:H, включающей σ_d , σ_{ph} и E_a .

В течение последних пяти лет применение активных матриц тонкопленочных транзисторов (ТПТ) на основе аморфного гидрогенизированного кремния в цветных жидкокристаллических экранах (ЖКЭ) являются одним из наиболее интенсивно развивающихся направлений тонкопленочной электроники [1]. Однако надежность работы таких устройств, в большой степени связанная с изменением свойств материала в активной области ТПТ в процессе эксплуатации, оставляет желать лучшего.

Деградационные процессы в некристаллических материалах, к которым относится a -Si:H, имеют более ярко выраженный характер по сравнению с аналогичными в кристаллах. Связано это с тем, что с термодинамической точки зрения устойчивость структуры неупорядоченного материала значительно ниже, чем устойчивость кристаллической решетки. Это влечет за собой гораздо более эффективную модификацию структуры материала под воздействием как условий получения, так и последующих внешних воздействий (излучения, температуры, электрических полей). Следствием структурной модификации является изменение электрических и оптических свойств материала, что и отражается в временной нестабильности электрических характеристик ТПТ.

Таким образом, задача создания стабильных ТПТ должна решаться путем создания пленок a -Si:H со стабилизированной структурой.

Этот вопрос интенсивно исследуется в направлении совершенствования технологического процесса нанесения a -Si:H (оптимизация конфигурации Si:H связей, эффект псевдолегирования [2,3], стабилизация структуры при легировании азотом [4,5]). Однако гораздо меньше работ по оценке стабильности параметров материала в процессе эксплуатации.

Структурные особенности материала определяют как его фундаментальные свойства, так и их устойчивость к последующим внешним воздействиям. Следовательно, возможен прогноз временной стабильности характеристик приборов по фундаментальным свойствам материала, измеренным непосредственно после его изготовления. Такой подход выгоден и с практической точки зрения, так как контроль производится на начальной стадии изготовления активной матрицы ТПТ еще до формирования собственно ТПТ. Проведение подобной оценки представляло цель настоящей работы.

Пленки a -Si:H, исследованные в работе, изготавливались разложением силана в плазме при температуре подложки $T_s = 200-300^\circ\text{C}$. На их основе формировались ТПТ с нижним затвором, с шириной канала $W = 90$ мкм и длиной канала $L = 9$ мкм. В качестве внешнего воздействия использовался высокотемпературный отжиг, как один из факторов, сильно влияющих на свойства пленок a -Si:H и вольт-амперных характеристик (ВАХ) ТПТ на их основе. Отжиг проводился при температуре $T_a = 200^\circ\text{C}$, сравнимой с температурой получения пленок, что позволяет интенсифицировать процессы структурной модификации [6]. Под воздействием высокой температуры происходит эффективная модификация спектра локализованных состояний с отжигом метастабильных дефектов. В то же время отжиг метастабильных дефектов не приводит к возрастанию устойчивости системы к внешним воздействиям. Эффект Стеблера-Вронского является ярким примером фотостимулированной релаксации системы с повышенной полной энергией, но пониженной концентрацией дефектов, в состояние с более низкой полной энергией и с возросшей концентрацией дефектов, т.е. высокотемпературная обработка не является воздействием, повышающим стабильность параметров исследуемых пленок a -Si:H в процессе эксперимента. Время отжига изменялось в пределах от 0 до 360 мин. Такой временной интервал значительно перекрывает время воздействия высоких температур на матрицу ТПТ в технологическом процессе сборки ЖКЭ.

Основой для прогнозирования стабильности характеристик ТПТ была выбрана система из трех параметров:

- σ_d , $(\text{Ом}\cdot\text{см})^{-1}$ — темновая проводимость при $10^3/T = 3$, K^{-1} ;
- σ_{ph} , $(\text{Ом}\cdot\text{см})^{-1}$ — фотопроводимость при $10^3/T = 3$, K^{-1} ;
- E_a , эВ — энергия активации темновой проводимости.

Выбор именно этих характеристик основан на том, что они, во-первых, позволяют на предварительном уровне прогнозировать качество ТПТ. Величина темновой проводимости сильно связана с током выключенного состояния, а величины энергии активации и фотопроводимости, характеризующие относительную подвижность уровня Ферми, — с коэффициентом переключения транзистора. Во-вторых, под воздействием отжига они изменяются в широком диапазоне, и

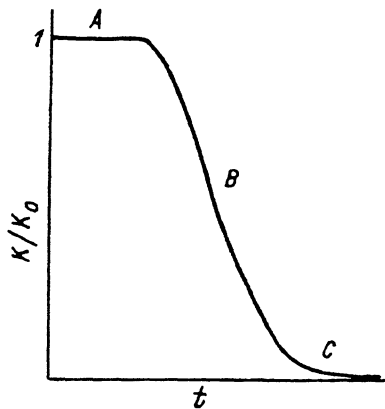


Рис. 1. Относительное изменение коэффициента переключения ТПТ как функция времени отжига при температуре 200 °С.

в-третьих, могут быть достаточно оперативно измерены, что является достоинством при производстве матриц ТПТ.

Для оценки устойчивости ВАХ ТПТ к воздействию температуры полученные образцы были разделены на несколько партий. Критерием, в соответствии с которым формировались партии, являлось значение фотопроводимости. В каждую партию входили образцы с близкими значениями фотопроводимости ($\pm 50\%$ от среднего значения по партии). Это позволило в дальнейшем исследовать устойчивость электрических характеристик ТПТ к воздействию высоких температур как функцию σ_d , E_a для определенных значений фотопроводимости.

При выборе параметра, с помощью которого могла бы быть описана стабильность ВАХ ТПТ, следует учитывать следующие моменты. Во-первых, перераспределение плотности локализованных состояний приводит к увеличению значения σ_d ; изменения в значениях E_a и σ_{ph} зависят от исходного положения уровня Ферми. На электрических характеристиках ТПТ это заметнее всего проявляется в возрастании тока выключенного состояния, что приводит к уменьшению коэффициента переключения [6]. Во-вторых, качество транзисторов, созданных на образцах с различающимися величинами энергии активации и темновой проводимости, резко различно. Это приводит к невозможности провести совместный анализ по группе образцов, используя абсолютные значения какого-либо одного параметра. Опираясь на изложенные соображения, в качестве искомого параметра было выбрано относительное изменение коэффициента переключения транзистора K/K_0 , где K — отношение тока стока при напряжении на затворе $U_g = 20$ В к току стока при напряжении на затворе $U_g = 0$ В. $K_0 = K$ до высокотемпературной обработки ТПТ.

На рис. 1 приведена характерная зависимость относительного изменения коэффициента переключения транзистора K/K_0 от времени высокотемпературной обработки. Хорошо видно, что могут быть выделены три участка с различной скоростью изменения коэффициента переключения. Участок А, когда величина K/K_0 постоянна, затем участок В быстрого изменения K/K_0 и участок С, на котором величина K/K_0 на порядки ниже исходного. Так как в данной работе основное внимание мы уделяем стабильности характеристик, за основной параметр следует выбрать интервал времени, в течение которого величина

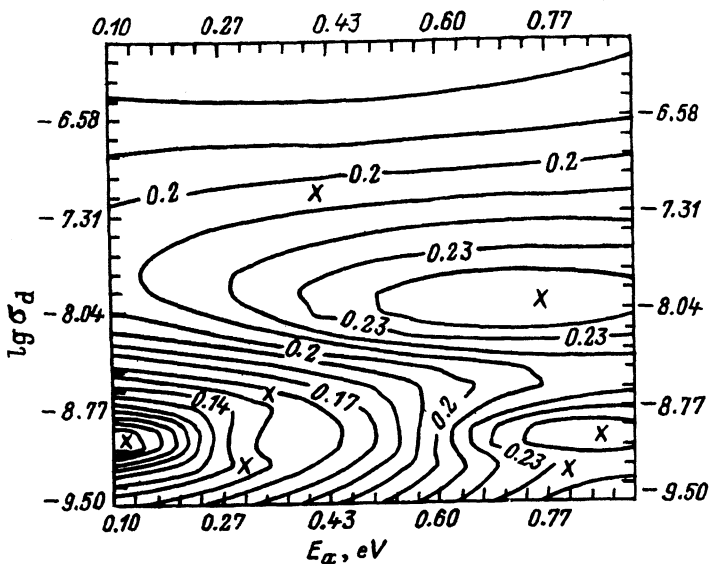


Рис. 2. Устойчивость ТПТ к отжигу при температуре 200 °С как функция параметров пленки α -Si:H.

K/K_0 постоянна (область А на рис. 1). Длительность интервала времени А использовалась для нормировки параметра устойчивости к воздействию температуры Z при $T_a = 200$ °С для построения экспериментальной зависимости, показанной на рис. 2. Величина Z принималась равной 0 для случая, когда длительность интервала времени А составляла менее 15 мин, и 0.25 для случая, когда длительность интервала времени А составляла 360 мин и более. Контурные линии построены в координатах E_a, σ_d и характеризуют уровень с постоянной величиной Z . Цифры на линии показывают величину Z . Крестиками отмечены экспериментальные точки. Экспериментальные данные приведены для ТПТ, созданных на основе пленок с величиной фотопроводимости $\sigma_{ph} = 5 \cdot 10^{-6}$ (Ом·см) $^{-1}$.

Зависимость устойчивости к воздействию температуры может быть аппроксимирована уравнением вида

$$Z(T_a, \sigma_{ph}) = A(T_a, \sigma_{ph}) \lg \sigma_d + B(T_a, \sigma_{ph}) E_a + C(T_a, \sigma_{ph}). \quad (1)$$

Для рассматриваемого случая $T_a = 200$ °С, $\sigma_{ph} = 5 \cdot 10^{-6}$ (Ом·см) $^{-1}$, $A = 1.1 \cdot 10^{-2}$, $B = 0.27$, $C = 0.15$ и длительность интервала А может быть оценена по формуле

$$t_A = 14Z [T_a = 200 \text{ °С}, \sigma_{ph} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ (Ом·см)}^{-1}]. \quad (2)$$

Как следует из приведенных экспериментальных данных, процесс создания высокостабильных ТПТ должен включать в себя этап промежуточного контроля свойств исходного материала. Наиболее надежные приборы (по всем партиям) были созданы на материале с максимальными величинами E_a и σ_{ph} и минимальными значениями σ_d . Внутри каждой партии, характеризуемой одинаковыми значениями σ_{ph} ,

стабильность ТПТ возрастает с уменьшением σ_d при близких значениях E_a и с ростом E_a при близких значениях σ_d .

Это позволяет также сделать вывод об оптимальном энергетическом спектре локализованных состояний в щели подвижности a -Si:H с точки зрения стабильности ТПТ. При сравнении образцов с равной интегральной плотностью локализованных состояний, но с разным энергетическим спектром, очевиден вывод о том, что большую устойчивость к воздействию температуры демонстрирует образец у которого: 1) уровень Ферми находится ближе к центру зоны, и плотность локализованных состояний у уровня Ферми повышена; 2) плотность состояний в минимуме понижена; 3) более узкий хвост зоны проводимости.

Вопрос получения пленок с заданным спектром локализованных состояний (и с заданными электрическими характеристиками), как правило, решается на пути модификации технологического процесса [2-5].

Однако возможно направленное изменение спектра локализованных состояний при проведении дополнительных обработок уже после изготовления и измерения характеристик пленок. В качестве примера такой обработки возможно использование ультрафиолетового излучения [7]. Такая обработка приводит к уменьшению темновой проводимости при неизменности энергии активации и фотопроводимости за счет перераспределения плотности локализованных состояний в щели подвижности a -Si:H.

В заключение следует также отметить, что ТПТ, созданные на пленках a -Si:H, удовлетворяющих указанным требованиям с точки зрения устойчивости к температурным воздействиям, демонстрируют лучшие характеристики переключения и устойчивы к полевым воздействиям [7].

Список литературы

- [1] Электронная промышленность, 1-2, 85 (1993).
- [2] О.А. Голикова. ФТП, 25, 1517 (1991).
- [3] В.А. Лигачев, В.Н. Гордеев, В.А. Филиков, Х. Сулейман. ФТП, 25, 1536 (1991)
- [4] А.А. Айвазов, Б.Г. Будагян, О.Н. Становов. ФТП, 25, 1808 (1991).
- [5] А.А. Айвазов, Б.Г. Будагян, Е.Л. Приходько, А.Ю. Сазонов. ФТП, 25, 1802 (1991).
- [6] И.А. Попов, К.В. Рязанов. Матер. науч.-техн. сем. «Шумовые и деградиационные процессы в полупроводниковых приборах» (МНТОРЭС, 63, 1993).
- [7] Б.И. Казуров, Э.Н. Воронков, И.А. Попов, Б.П. Черноротов. Электронная промышленность, 3, 25 (1993).

Редактор В.В. Чалдышев