

5.02;6

©1993

ТРИГГЕРНЫЕ АВТОВОЛНЫ В ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СТРУКТУРАХ

А.И.Белецкий, Н.А.Власенко

Известно, что в диссипативных средах с S -образной вольт-амперной характеристикой возможны автоволновые процессы с автоколебательным и триггерным режимами в зависимости от характера пересечения ее нагрузочной прямой, определяемой сопротивлением R_n , последовательным с активной средой [1]. Нами недавно показано, что тонкопленочные электролюминесцентные структуры (ТПЭЛС) МД-ПДМ типа, обладающие собственной памятью и имеющие отрицательное дифференциальное сопротивление (ОДС), являются активной диссипативной средой, в которой при нагреве до $75-80^\circ\text{C}$, когда $|\text{ОДС}| < R_n$, возникают периодические автоволны [2]. В данной работе сообщается об обнаружении в электролюминесценции аналогичных ТПЭЛС триггерных автоволн (ТАВ), для возникновения которых не требуется разогрев среды; приводятся их основные характеристики.

Исследованные ТПЭЛС, как и в [2], представляли собой МДПДМ структуры с электродами In_2O_3 и Al . Однако Д-слой ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$, 300 нм) и П-слой (ZnS:Mn , 500 нм, концентрация $\text{Mn} \sim 1.3$ вес.%) были нанесены не электроннолучевым испарением, а эпитаксией атомными слоями (ЭАС) [3], что обуславливает их высокую однородность, крупнозернистость и беспористость. Особенности данных ТПЭЛС является также более низкое (в 5-7 раз) сопротивление пленки In_2O_3 и некоторое отличие в характеристиках (см. ниже).

В соответствии с общими критериями [1], ТАВ в данных ТПЭЛС возникают, когда в зависимостях активного тока и яркости от приложенного напряжения U имеется достаточно широкая петля гистерезиса (5-8 В). Это имеет место при возбуждении сравнительно короткими импульсами U ($\tau_{\text{имп}} = 5 - 100$ мкс). При подаче таких импульсов с частотой повторения $f = 1 - 1000$ Гц в отдельных точках при пороговом напряжении возникает свечение, которое со временем при фиксированном U распространяется вдоль поверхности в виде кругов (рис. 1). Скорость движения фронта

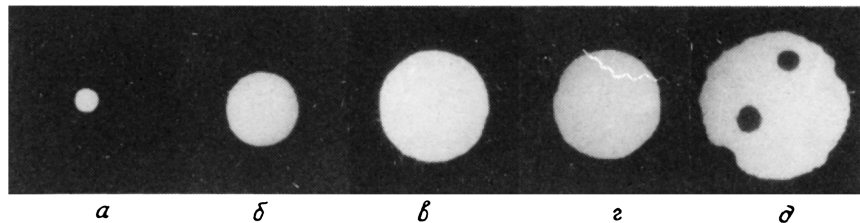


Рис. 1. Фото триггерной автоволны возбуждения (а-г) с временным интервалом 3 с и триггерных автоволн гашения (д). Увеличение $\times 30$.

этих ТАВ возбуждения постепенно замедляется и при определенном размере кругов, зависящем от U , фронт останавливается, т.е. образуются статические домены. В отличие от ТПЭЛС, описанных в [2], светящиеся области не имеют микроструктуры в виде точек (нитей) при всех условиях возбуждения. Это не связано с размытием микроструктуры из-за рассеяния света в П-слое, так как граница ТАВ очень резкая (< 1 мкм) при комнатной температуре. Положение центров ТАВ при повторной подаче напряжения не воспроизводится в большинстве случаев, что свидетельствует об их флуктуационной природе.

Скорость ТАВ в первые секунды после подачи фиксированного напряжения зависит от параметров возбуждающих импульсов и температуры. При повышении U скорость ТАВ резко возрастает, появляются новые центры свечения и за короткое время светящиеся области сливаются. Если после этого напряжение медленно снижать, то исчезновение свечения происходит также в виде ТАВ гашения, имеющих вид распространяющихся черных кругов (рис. 1, а). С увеличением длительности импульсов и периода их повторения скорость уменьшается от десятков до единиц мкм/с. (рис. 2, а). При частотах свыше 1 кГц после образования статического домена наблюдаются пульсации его стенки с периодом 1–3 с вначале по всему периметру круга, а с ростом f — в отдельных его частях. Дальнейшее повышение частоты приводит к размытию и искажению формы стенок доменов. Однако в данных ТПЭЛС ни при каких частотах импульсного или синусоидального напряжения не наблюдаются автоколебательные процессы, описанные в [2].

С повышением температуры скорость ТАВ вначале не изменяется, а при $T > 40^\circ \text{C}$ резко возрастает (рис. 2, б). При этом фронт ТАВ становится нерезким, причем расплывание экспоненциально возрастает с T . При температурах свыше 170°C светящиеся круги настолько расплываются, что отдельные ТАВ уже не различаются.

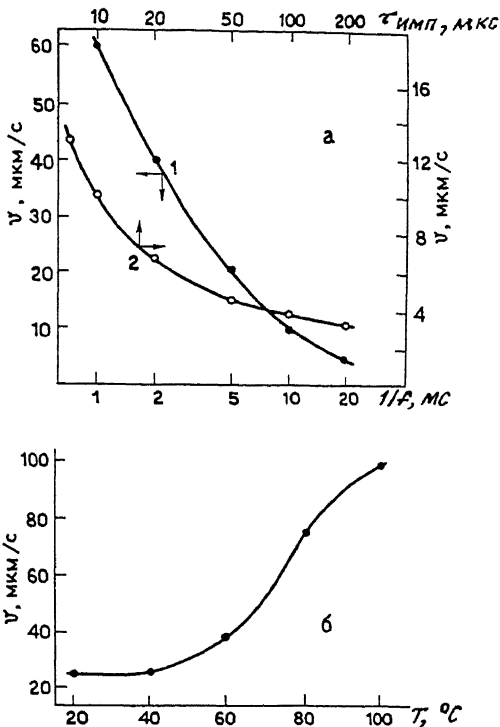


Рис. 2. Зависимость скорости фронта триггерной автоволны в первые секунды после подачи порогового напряжения от параметров импульсов напряжения (а) и температуры (б).

Параметры импульсов: f , Гц: 100 — а, кривая 2; 200 — б; $\tau_{\text{имп}}$, мкс: 10 — а, кривая 1, б.

Рассматривая физические процессы, обуславливающие ТАВ в данных ТПЭЛС и их свойства, следует учесть, что для существования ТАВ достаточно процессов с положительной обратной связью (активатор), в то время как для возникновения периодических автоволн необходимы и процессы с отрицательной обратной связью (ингибитор) [1]. Природа активатора в данных ТПЭЛС, очевидно, такая же, как и в ТПЭЛС, рассмотренных в [2]. Из мест флуктуаций, где произошло первоначально переключение среды в возбужденное состояние, неравновесный заряд растекается во все стороны вдоль границ Π -слоя, вызывая в соседних областях усиление поля в пленке ZnS:Mn , ударное размножение свободных носителей и возбуждение ионов Mn^{2+} , т.е. переключение этих областей в состояние с высокой яркостью и проводимостью. Таким же образом волна возбуждения распространяется далее. Однако

механизм растекания зарядов данных ТПЭЛС имеет особенности, связанные, во-первых, с лучшей кристаллической структурой пленок $ZnS:Mn$ (меньшая высота межкристаллитных барьеров, отсутствие микрозазоров между кристаллитами) и, во-вторых, с наличием в пленках, выращенных ЭАС, дополнительных мелких (Cl^-) и глубоких (V_{Zn}^+) центров из-за примеси хлора в них. Эти центры проявляются в фотолюминесценции в виде синей "самоактивированной" полосы. Наряду с туннельным "просачиванием" локализованного заряда по поверхностным состояниям [2], становится возможным диффузионно-дрейфовый механизм растекания свободных носителей заряда, возникающих в результате термической ионизации мелких центров. Вблизи комнатной температуры преобладает туннельный механизм, о чем свидетельствует резкая граница светящихся областей и независимость скорости v фронта ТАВ от температуры. При повышении T усиливается роль второго механизма, вызывающего сильное распывание фронта ТАВ и резкий рост v при $T > 40^\circ C$. Температурная зависимость скорости фронта ТАВ определяется двумя процессами, экспоненциально усиливающимися с ростом T :

1) термической ионизацией в возбужденных областях мелких центров (доноров Cl^- и изоэлектронных ловушек $[Mn_{Zn}^{2+}]^0$ [4]);

2) движением свободных носителей через межкристаллитные барьеры из этих областей в соседние невозбужденные области. Из-за наличия дополнительных глубоких акцепторных центров (V_{Zn}^+) гистерезис характеристик данных ТПЭЛС не исчезает при $T > 100^\circ C$, как это имеет место в случае пленок ZnS , легированных одним марганцем [2], что объясняет наличие ТАВ вплоть до $170^\circ C$.

Зависимость скорости ТАВ от длительности импульсов напряжения связана с уменьшением ширины петли гистерезиса при увеличении $\tau_{имп}$. Увеличение же скорости ТАВ при повышении частоты повторения импульсов можно связать с увеличением скорости генерации свободных носителей заряда при ударной ионизации в П-слое.

Что касается ингибитора, то как и в ТПЭЛС, рассмотренных в [2], им может быть уменьшение напряжения на П-слое после переключения в возбужденное состояние в результате перераспределения U между активной средой и последовательным распределенным сопротивлением, например, прозрачным электродом. Однако из-за малого сопротивления пленок In_2O_3 ингибитор в данных ТПЭЛС не проявляется до определенного размера светящихся областей, но затем обуславливает замедление и, наконец, пол-

ную остановку ТАВ. Образование статических доменов может быть связано также с увеличением падения напряжения на внешнем сопротивлении, последовательном с ячейкой (подводящие электродные шины, внутреннее сопротивление генератора и др.).

Таким образом, показано, что в определенном типе бистабильных ТПЭЛС имеет место триггерный автоволновой режим, не требующий разогрева среды, причем ТАВ существуют в широком диапазоне температур (20–160° С). Рассмотренные ТПЭЛС могут использоваться не только как модельная автоволновая среда, но и для создания оптоэлектронных устройств записи и обработки информации, поскольку имеется возможность управления движением фронта ТАВ электронными и оптическими сигналами.

Авторы выражают благодарность Р. Торнквисту за предоставление экспериментальных образцов ТПЭЛС, выращенных ЭАС.

Список литературы

- [1] *Кринский В.И., Жаботинский А.М.* // В сб.: Автоволновые процессы в системах с диффузией. ИПФ АН СССР. Горький, 1981. С. 6.
- [2] *Белецкий А.И., Власенко Н.А.* // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 1. С. 33–37.
- [3] *Suntola T. et al.* // 1980 SID Internat. Symp. San Diego, Digest Technical Papers. 1980. P. 108.
- [4] *Vlasenko N.A.* // Acta Polytechnica Scandinavica. Appl. Phys. Ser. N 170. Helsinki, 1990. P. 27–39.

Институт полупроводников
АН Украины
Киев

Поступило в Редакцию
18 августа 1993 г.