

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ЧАСУ ПЕРЕМИКАННЯ КОМІРКИ ПАМ'ЯТІ НА БАЗІ ХСН ВІД ТОВЩИНИ ПЛІВКИ ТА ПЕРЕНАПРУЖЕННЯ У ЗРАЗКУ

Вступ

Дослідження параметрів та характеристик комірок пам'яті (КП) є актуальною задачею тому, що це необхідно для вдалого проектування сучасних електронних пристроїв. Новий тип пам'яті базується на використанні матеріалу ХСН (халькогенідний склоподібний напівпровідник). Утворення пам'яті використовує принцип зміни фазового стану матеріалу, тобто перехід з аморфного (низька провідність) до кристалічного (висока провідність) стану під дією імпульсів струму. Необхідно зазначити, що до цих пір жодна із математичних моделей запропонована для ефекту перемикавання КП із високоомного в низькоомний стан не знайшла широкого застосування, оскільки мають низьку точність, або протиріччя із практичними результатами.

Постановка задачі досліджень

Одним із основних параметрів запам'ятовуючих пристроїв (ЗП) на фазових переходах є напруга та час перемикавання із аморфної до кристалічної фази. Тому задачею даної праці є дослідження залежності часу перемикавання від прикладеної напруги та геометричних розмірів комірки пам'яті.

Розв'язання задачі

Для того, щоб КП ввімкнулася необхідно певний час прикласти напругу. Цей час необхідний для накопичення емісійного заряду і утворення концентрації вільних носіїв, щоб замкнути контакти пристрою. Як показано в роботі [1] через деякий час t_n відбувається різке падіння напруги і зростання струму на КП, тобто відбувається перехід зі високоомного стану в стан високої провідності, іншими словами перезапис логічного нуля в логічну одиницю. Для закріплення цього стану необхідно ще певний час t_k , протягом якого спостерігається подальше збільшення провідності зразка. Якщо до закінчення цього часу зняти напругу з КП, то відбудеться повернення її у високоомний стан логічного нуля. Час фіксації стану згідно теорії [2] пов'язують із утворенням ниток струму у зразку, що замикають контакти пристрою. Більш новіші дослідження довели хибність такого пояснення, тому існує нова теорія згідно якої механізм перемикавання є не електронним, а обумовлений кристалізацією матеріалу під дією електричного поля [3].

Згідно нової теорії ввімкнення КП відбувається в момент, коли емісійний заряд досягає певного значення, що залежить від товщини та складу плівки халькогенідного скла. Значення цього заряду можна записати так:

$$q_k = p(E) \cdot N(E), \quad (1)$$

де $p(E)$ - ймовірність емісії, $N(E)$ - концентрація носіїв заряду.

Вважаємо, що перемикавання здійснюється в режимі генератора струму. Емісійний заряд накопичується за час t_n під дією прохідного струму I_n , тоді можна записати:

$$t_n = \frac{q_k}{I_n} = \frac{d}{\mu_p} \cdot E_k = \frac{d^2}{\mu_p} \cdot U_k, \quad (2)$$

де $q_k = S \cdot d \cdot e \cdot N(E) \cdot p_k$, $I_n = S \cdot e \cdot N(E) \cdot p_k \cdot \mu_p \cdot E_k$, S - площа електроду, μ_p - рухливість дірок, p_k - ймовірність перемикавання, d - товщина зразка.

Це просте рівняння дає правильний порядок для часу затримки

На рисунку 1 показано графік залежності часу затримки від товщини зразка при різних значеннях рухливості дірок. Перемикавання здійснюється при пороговій напруженості електричного поля у зразку – $E = E_n$ та $U_k = 3,5V$. Крива 1 - $\mu_p = 10^{-8} \text{ м}^2/(B \cdot c)$, крива 2 - $\mu_p = 5 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/(B \cdot c)$, крива 3 - $\mu_p = 2 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/(B \cdot c)$.

Якщо електричне поле E у зразку більше за порогове E_n , то час затримки перемикавання $t_n(E)$ буде меншим за t_n . Тоді виходячи із експериментальних даних [4] залежність часу перемикавання від перенапруження можна записати у вигляді формули (3).

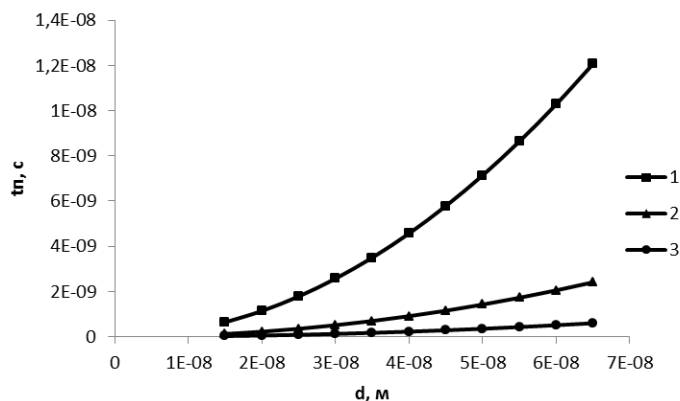


Рисунок 1 – Залежність часу затримки перемикавання від товщини плівки при $E = E_n$

$$t_n(E) = \left(\frac{E_n}{E}\right) \cdot e^{-\frac{(E-E_n)}{kT}} \cdot t_n \quad , (3)$$

Провівши обрахунки за формулою (3) побудовано графік залежності часу затримки перемикавання $t_n(E)/t_n$ від перенапруження у зразку E/E_n (відносні величини), що зображений на рисунку 2. Крива 1 – при $T=500$ К, крива 2 – при $T=350$ К, крива 3 – при $T=250$ К.

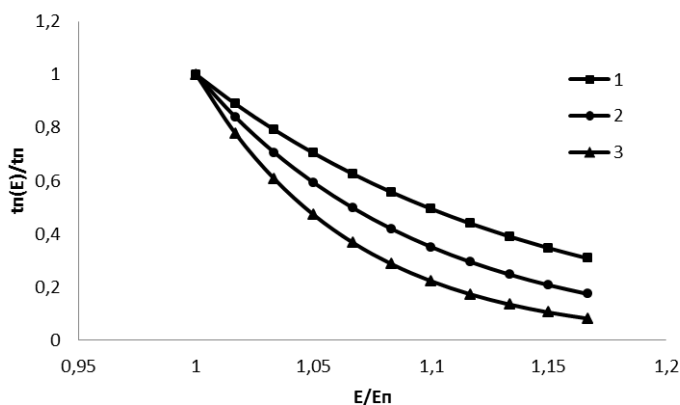


Рисунок 2 – Залежність відносного часу затримки перемикавання від перенапруження на зразку

Висновки

На основі емісійної моделі зміни фаз плівки ХСН у КП розраховано та побудовано графік залежності часу перемикавання від товщини зразка при різних значеннях рухливості дірок з якого випливає, що при збільшенні товщини плівки час перемикавання нелінійно зростає і залежить від типу матеріалу – при незначному збільшенні рухливості дірок різко зменшується. Також продемонстровано різке зменшення часу перемикавання при перевищенні порогової напруги, причому при зменшенні температури ця залежність зростає. Важливість отриманих результатів в тому, що вони збігаються з експериментальними. Це дає можливість покращити моделювання процесів у плівках ХСН, що використовуються у запам'ятовуючих пристроях.

Література

1. Чабан И. А. Эффект переключения в халькогенидных стеклах / Физика твердого тела. – 2007. Том 49. Вып. 3.
2. Лебедев Э. А. Фазовые переходы, происходящие в халькогенидных стеклообразных полупроводниках при воздействии на них импульсами электрического поля и лазерного излучения / Э. А. Лебедев, К. Д. Цэндин // ФТП. - 1998. Том 32. №8.
3. Nucleation switching in phase change memory. / Karpov V.G., Kryukov Y.A., Savransky S.D.// Applied Physics Letters, 2007. Volume 90, Issue 12, id. 123504.
4. Owen A.E., Robertson M. Electronic conduction and switching in Chalcogenide Glasses. // Electron Devices, IEEE Transactions 1973. Vol. 20. Issue 2, p.91-105.