

Создание энергоэффективных блоков сегнетоэлектрической памяти для нейроморфных приложений

Научный руководитель: Дмитрий Владимирович
Негров

Соловьянов Михаил Михайлович

1 сентября 2019 г.

Постановка задачи

1. Разработать тестовый прототип FRAM памяти на новом сверхтонком слое сегнетоэлектрика, включающий в себя так же цифровой контроллер памяти и способный измерять остаточную поляризацию.
2. Подготовить layout на базе существующей технологии для создания устройства.

Сегнетоэлектрик из $\text{HfO}_2\text{-ZnO}_2$

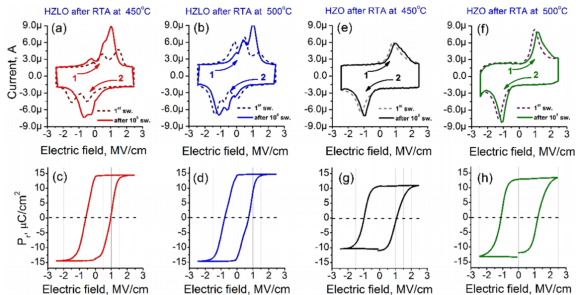
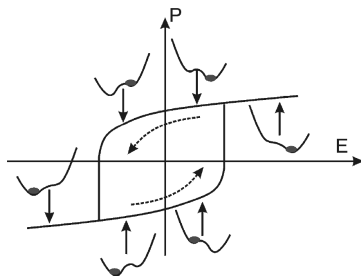
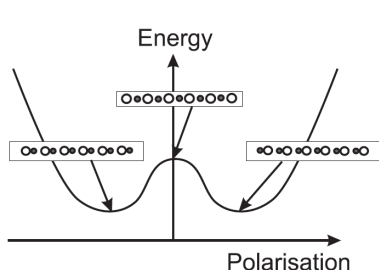


Рис.: Графики Поляризации от внешнего поля и ток через элемент при переполяризации, полученные в лабораториях ЦКП в 2016 году

Построение модели сегнетоэлектрика. Теория Ландау О фазовых переходах.

$$\mathcal{F} = \frac{1}{2}\alpha\vec{P}^2 + \frac{1}{4}\beta\vec{P}^4 - \vec{E}\vec{P} \quad (1)$$



Дифференцируя выражение (1) получаем:

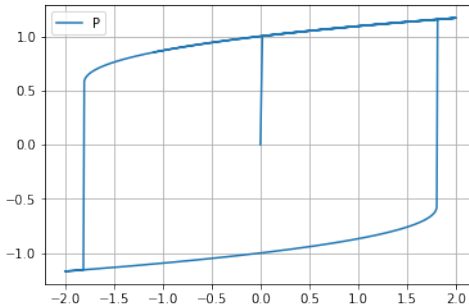
$$\frac{\partial \mathcal{F}}{\partial P} = \alpha P + \beta P^3 - E \quad (2)$$

$$\frac{\partial \mathcal{F}}{\partial P} = -R \frac{\partial P}{\partial t} \quad (3)$$

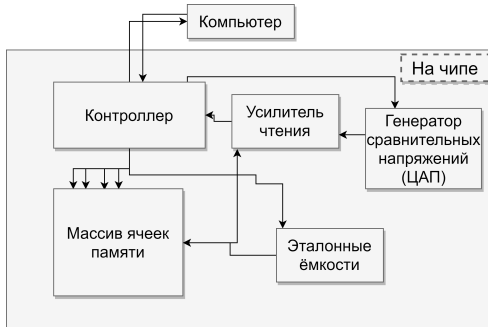
$$\alpha = 3\sqrt{3E_c/(8P_0^3)}$$

$$\beta = -3\sqrt{3E_c/(4P_0)}$$

$$-R\dot{\vec{P}} = \alpha\vec{P} + \beta\vec{P}^3 - \vec{E} \quad (4)$$



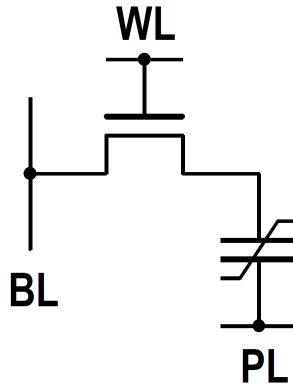
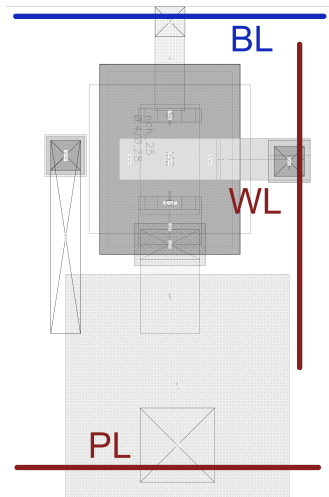
Строение Ferroelectric Random Access Memory (FRAM)



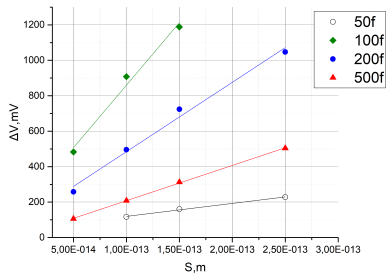
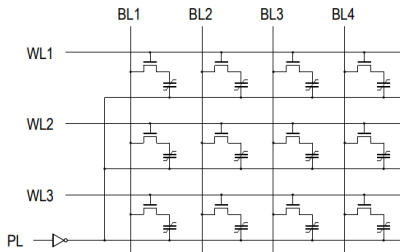
Режимы работы устройства:

1. Стандартные чтение и запись (как память)
2. Измерение остаточной поляризации ячеек (как измерительный прибор)
3. Измерение ёмкости линии битов (как измерительный прибор)
4. Измерение характеристик усилителя

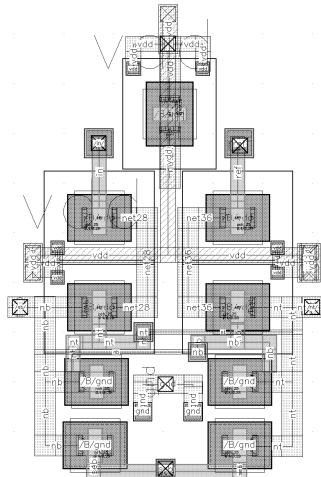
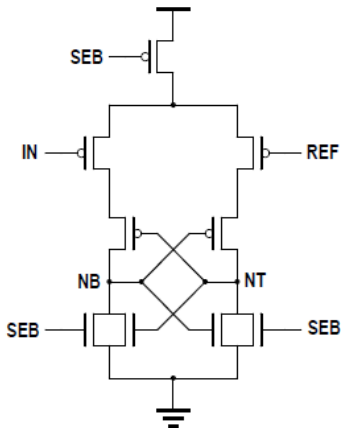
Топология ячейки памяти



Схематика массива памяти



Конструкция усовершенствованного дифференциального неразрушающего усилителя чтения



Name

OUT

V (V)

/ref_out

V (mV)

IN

V (mV)

/ref

V (mV)

/net21

V (V)

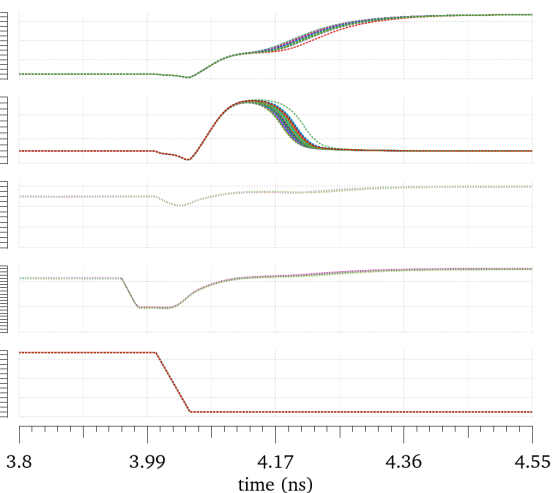


Рис.: Пример успешного сравнения зарядов. Ансамбль из 200 испытаний с учетом полосы шумов по методу Монте Карло в САПР Cadence Virtuoso .

Transient Response

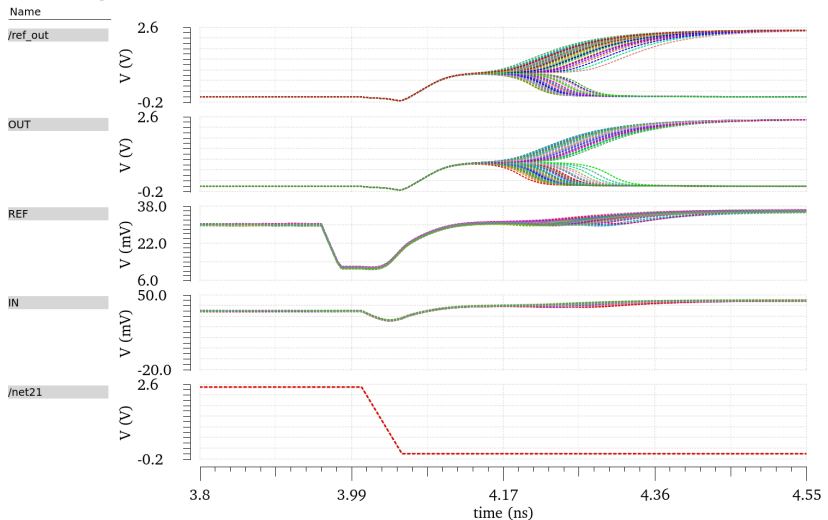


Рис.: Пример невозможности сравнения из за влияния теплового шума. Ансамбль из 200 испытаний с учетом полосы шумов по методу Монте Карло в САПР Cadence Virtuoso.

	T_clk , nS						
	1	2	5	10	20	30	50
30	1	1	1	1	1	1	1
25	1	1	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1
16	0	1	1	1	1	1	1
15,95	0	0	0	0	0	0	0
15,9	0	0	0	0	0	0	0
15,8	0	0	0	0	0	0	0
15,5	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0
ΔV							

Рис.: Пределы разности сравнения при $V_{ref} = 30mV$, как видно точность измерения порядка 16 mV, определяется тепловым шумом, на различных частотах (временная симуляция с учетом полосы шумов по методу Монте Карло в Cadence Virtuoso)

Итог:

1. Освоен способ относительно достоверной симуляции сегнетоэлектрического конденсатора при аналоговой спайс симуляции.
2. Произведена оценка отношения плотности памяти и объема ее ядер для тестового образца).
3. Произведена оценка возможности стабильной работы усилителя, а как следственно частотный и габаритный предел создания FRAM на данной технологии.
4. Создана топология для запуска тестового чипа в производство.

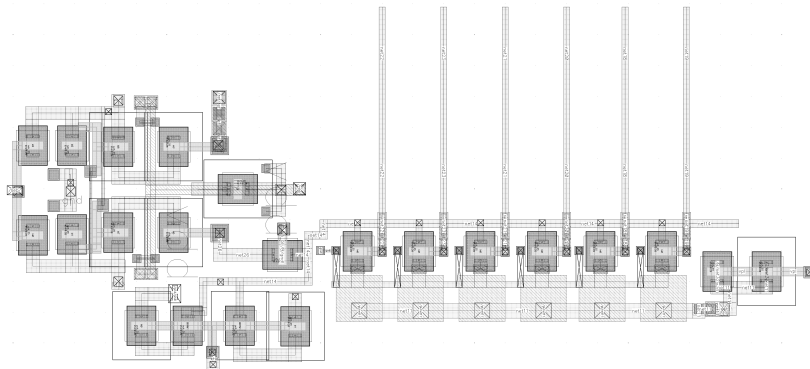


Рис.: Топология столбца памяти

- ▶ Mitigating wakeup effect and improving endurance of ferroelectric $Hf_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ thin films by careful La-doping Published Online: 15 January 2019
- ▶ Improved Ferroelectric Switching Endurance of La-Doped $Hf_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ Thin Films Anna G. Chernikova, Maxim G. Kozodaev, Dmitry V. Negrov, Evgeny V. Korostylev, Min Hyuk Park, Uwe Schroeder, Andrey M. Markeev
- ▶ Advanced Circuit Design of Gigabit-Density FRAM Von der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors Dissertation
- ▶ Physics of ferroelectrics PBLittlewood January 27, 2002