

TRIZ SUMMIT 2025



RUSAL





TRIZ SUMMIT 2025

Ли Хуан Е
Li Huangye

Evolutionary lines and spaces of systems development

**Эволюционные линии и пространства
развития систем**



Содержание / Content

- 1. Что такое функционально-целевые системы.
 - 2. Законы развития функционально-целевых систем (ЗРФЦС).
 - 3. Линии, плоскости и пространства развития систем.
 - 4. Линии развития для электроники.
 - 5. Примеры миниатюризации по линиям развития в электроники.
-
- 1. What are functional target systems?
 - 2. Set of Laws of evolution of functional-and-targeted systems (LEFTS).
 - 3. Lines, planes and spaces of system development.
 - 4. Development lines for electronics.
 - 5. Examples of miniaturization along the lines of development in electronics.

Функционально-целевая система / Functional-target system

- Функционально-целевая система – это система, сформированная для выполнения комплекса полезных функций и достижения целей в соответствии с требованиями надсистем и принципом действия данной системы.
 - Функционально-целевая система формируется на основе самоорганизации, естественного или искусственного отбора, или в результате целенаправленных действий одной из надсистем.
 - К функционально-целевым системам можно отнести биологические системы, технические системы, социальные, экономические, научные и другие системы.
-
- A functional-target system is a system formed to perform a set of useful functions and to achieve goals in accordance with the requirements of supersystems and the operating principle of this system.
 - A functional-target system is formed on the basis of self-organization, natural or artificial selection, or as a result of purposeful actions of one of the supersystems.
 - Functional-target systems include biological systems, technical systems, social, economic, scientific and other systems.

Закон развития функционально-целевых систем (ЗРФЦС) / Laws of development of functional-target systems (LDFTS)

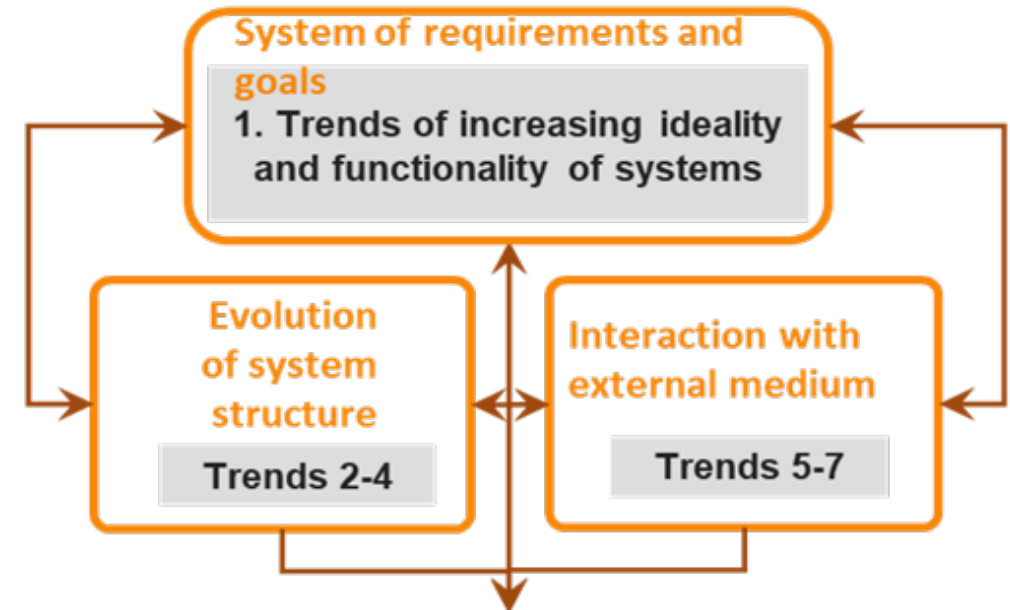
- Закон развития функционально-целевой системы (ЗРФЦС) – это объективный закон, в котором описано устойчивое направление эволюции функционально-целевой системы, обеспечивающее повышение ее конкурентоспособности на уровне системного филогенеза.
- Законы развития функционально-целевых систем внутренне не противоречивы. Каждый закон может иметь уточнения в виде следствий из закона.
- На основе ЗРФЦС формулируются линии развития функционально-целевых систем, разрабатываются методики анализа функционально-целевых систем и прогнозирования их развития.
- Иерархия комплекса ЗРФЦС построена на верховенстве закона стремления к идеальности.
- Law of development of functional-target system (LDFTS) is an objective law that describes a stable direction of evolution of a functional-target system, which ensures an increase in its competitiveness at the level of systemic phylogenesis.
- The laws of development of functional-target systems are not internally contradictory. Each law can have clarifications in the form of consequences from the law.
- On the basis of the LDFTS, we can formulate lines of development of functional-target systems, and design methods for analyzing functional-target systems and forecasting their development.
- The hierarchy of the LDFTS is built on the supremacy of the law of striving for ideality.

Структура комплекса законов развития функционально-целевых систем / Scheme for laws of development of functional-target systems complex



8. Закон развития через возникновение противоречий требований и их разрешение при помощи принципов разрешения противоречий

Линии (плоскости, пространства) развития функционально-целевых систем



8. Trend of evolution through origination of contradictions of requirements and resolving them with the aid of principles for resolving contradictions

Lines (planes, spaces) of evolution of functional-and-targeted systems

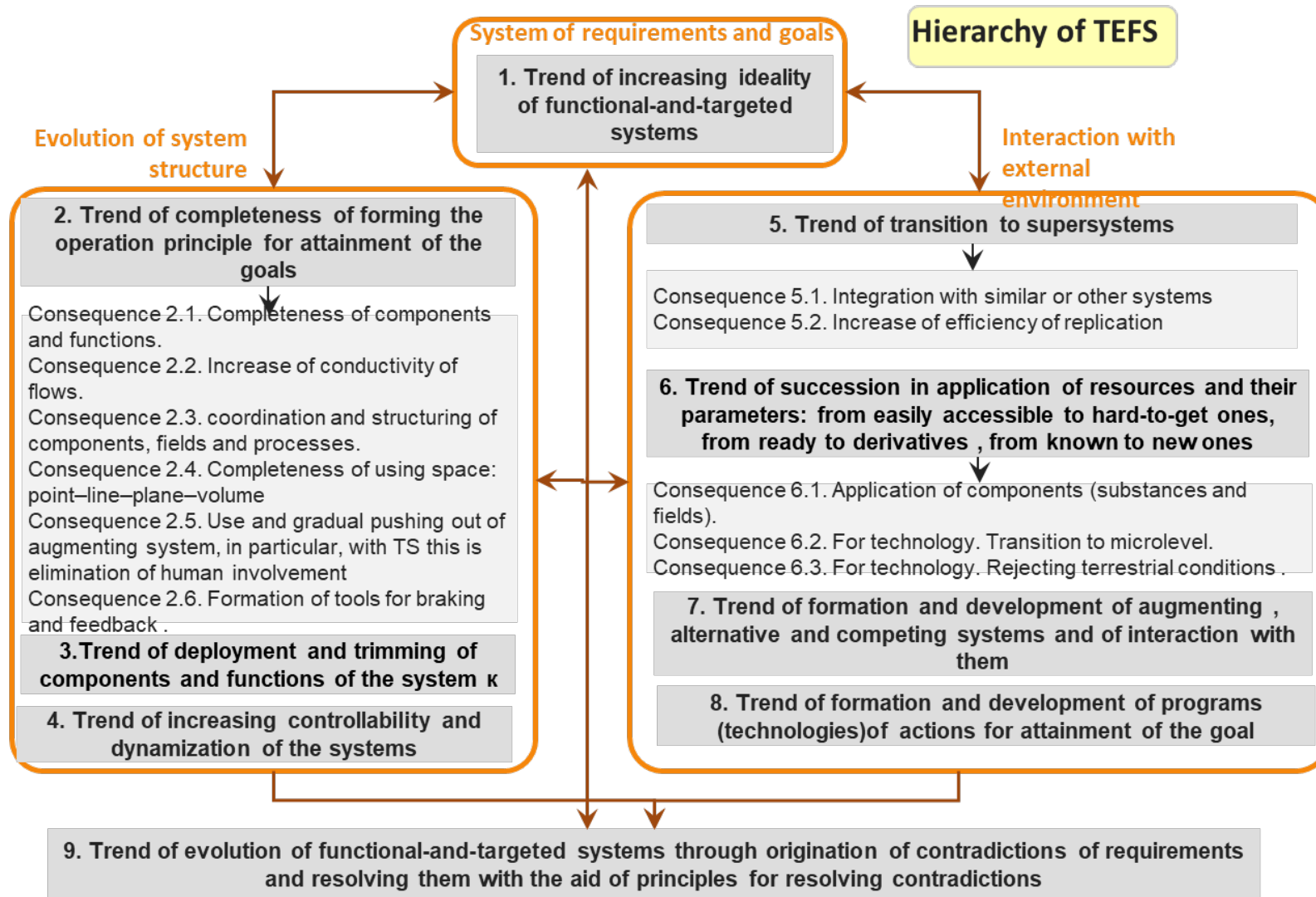


Комплекс законов развития функционально-целевых систем

Линии (плоскости, пространства) развития функционально-целевых систем

L1. Линия введения элементов (веществ)
L2. Линия введения и развития полей взаимодействия
L3. Линия дробления и динамизации
L4. Линии согласования-рассогласования и структуризации

L5. Линия «моно – би – поли – свертывание»
L6. Линии коллективно-индивидуального использования систем
L7. Линия развития по S-образной кривой



A set of Laws of development of functional-target systems

Lines (planes, spaces) of evolution of functional-and-targeted systems

- L1. Line of introducing elements (substances)
- L2. Line of introduction and development of interaction fields
- L3. Line of fragmentation and dynamization
- L4. Lines of coordination-discoordination and structuring
- L5. Line of «mono – bi – poly – trimming»
- L6. Lines of collective/individual use of systems
- L7. Line of S-curve evolution

Линии развития функционально-целевых систем / Lines of development of functional-target systems

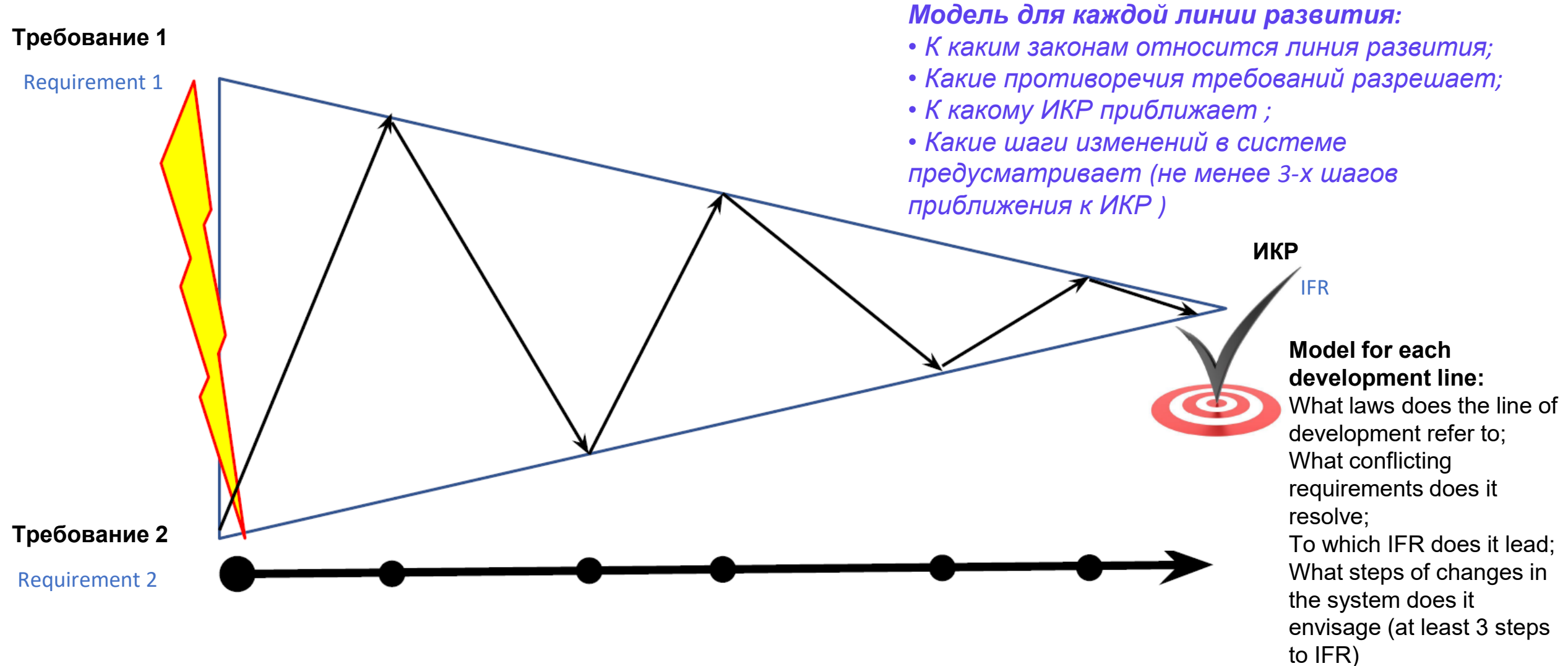
- L1. Линия введения элементов (веществ)
- L2. Линия введения и развития полей взаимодействия
- L3. Линия дробления и динамизации
- L4. Линии согласования-рассогласования и структуризации
- L5. Линия «моно – би – поли – свертывание»
- L6. Линии коллективно-индивидуального использования систем
- L7. Линия развития по S-образной кривой
- L8. Линия перехода на микроуровень
- L9. Линия перехода в надсистемы
- L10. Линия ухода от земных условий

- L1. Line of introducing elements (substances)
- L2. Line of introduction and evolution of interaction fields
- L3. Line of fragmentation and dynamization
- L4. Lines of coordination-discoordination and structuring
- L5. Line «mono – bi – poly – trimming»
- L6. Lines of collective and individual use of systems
- L7. Line of S-curve evolution
- L8. Line of transition to the micro level
- L9. Line of transition to supersystems
- L10. Line of departure from earthly conditions

Связь цели, принципа действия и функций систем / Connection of goal, operating principle and functions



Модель линии развития систем / Model for line of system development



Пример: Развития системы «Микросхема» / Example: Development of the “Microcircuit” system

Противоречие требований

- Если увеличивать сложность и функциональность электронных устройств, то повышается их производительность и полезность (Требование 1: эффективность, multifunctionality), но растут энергопотребление, тепловыделение и стоимость (Требование 2: энергоэффективность, compactness, reliability).

Идеальный конечный результат (ИКР)

- Электронные компоненты САМИ минимизируют энергопотребление и тепловыделение, сохраняя высокую производительность без усложнения конструкции.

Conflicting requirements

- Increasing the complexity and functionality of electronic devices improves their performance and usefulness (Requirement 1: efficiency, multifunctionality), but also increases energy consumption, heat dissipation, and cost (Requirement 2: energy efficiency, compactness, reliability).

ideal final result (IFR)

- Electronic components themselves minimize energy consumption and heat dissipation while maintaining high performance without complicating the design.

Пример: Развития системы «Микросхема» / Example: Development of the “Microcircuit” system

Перечень типовых шагов по устранению противоречия

- Оптимизация материалов (переход от вакуумных ламп к полупроводникам).
- **Миниатюризация** (уменьшение размеров транзисторов, закон Мура).
- Энергоэффективные архитектуры (низковольтные процессоры, многоядерные системы).
- Использование новых физических принципов (квантовые вычисления, оптоэлектроника).
- Адаптивное управление (динамическое регулирование частоты и напряжения).
- Интеграция в надсистему (облачные вычисления, распределенные системы).

List of typical steps to resolve the contradiction

- **Material optimization** (transition from vacuum tubes to semiconductors).
- **Miniaturization** (reduction in transistor size, Moore's Law).
- **Energy-efficient architectures** (low-voltage processors, multi-core systems).
- **Use of new physical principles** (quantum computing, optoelectronics).
- **Adaptive control** (dynamic frequency and voltage regulation).
- **Integration into a supersystem** (cloud computing, distributed systems).

Пример: Развития системы «Микросхема» по направлению миниатюризации

Развитие полупроводниковой промышленности представляет собой комплексный инновационный процесс, продвигающийся от макроскопического к микроскопическому уровню и от отдельных прорывов к системной интеграции. Ниже приведены только основные технологии миниатюризации на уровне компонентов с момента появления транзистора.

Название	Год разработки	Ключевые технологии	Идеальность
MOSFET	1959	Создание двумерных (2D) структур на кремниевых пластинах является основой интегральных схем.	Схема эталонных показателей для оценки последующего технологического идеализма.
CMOS	1963	Использование пар транзисторов p-типа и n-типа значительно снижает статическое энергопотребление.	Достижение 100-кратного уменьшения знаменателя за счет «нулевого статического энергопотребления» — величайший скачок в истории идеализации.
HKMG	2007	Сначала вводится диэлектрик HfO_2 с высокой диэлектрической проницаемостью и металлический затвор, а затем выполняется репликация/склеивание методом атомно-слоевого осаждения (ALD) для разрушения туннельного барьера SiO_2 , что позволяет достичь эквивалентной толщины оксида <1 нм.	Боковая стенка с высокой диэлектрической проницаемостью уменьшает утечку затвора в 100 раз, сохраняя при этом низкое время окончания (EOT), снижая допустимое напряжение на 20% и расширяя технологическое окно.
FinFET	2011	Переход транзисторов от двумерной плоскости к трехмерной «ребристой» структуре улучшает трехсторонний контроль затвора над каналом.	Технология 3D triple-gate уменьшает подпороговый размах с 100 мВ/дек до 70 мВ/дек, одновременно снижая напряжение и площадь.
GAA Nanosheet	2022	Дальнейшее развитие позволяет затвору окружать канал со всех четырех сторон, обеспечивая максимальный контроль над током.	Четырехсторонний затвор + нанолистовое штабелирование обеспечивают первую толщину канала 3 нм при сохранении подвижности, дополнительно снижая напряжение в 0,7 раза.
CFET	2025-2030	n- и p-слойные структуры объединены вертикально, обеспечивая общий исток/сток и затвор, что устраняет необходимость в изолирующем зазоре n-p-слойной структуры.	Это уменьшает площадь на 50% при сохранении четырёхстороннего управления затвором, увеличивает ток управления на 20% и совместимо с питанием объединительной платы на уровне кристалла.
2D-CFET	2030+	Введен монослойный канал MX_2 /графен с последующим вертикальным слиянием атомных кристаллов n/p.	Толщина канала составляет 0,6–1,2 нм. Увеличено квантовое ограничение, одновременно используются технологии обратного питания и четырёхстороннего затвора. Ток возбуждения увеличен на 30%, а подпороговый размах снижен до менее 60 мВ/дек.

Example: Development of the "Microcircuit" system in the direction of miniaturization

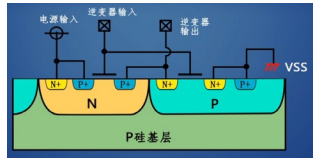
- The development of the semiconductor industry is a complex innovation process, moving from the macroscopic to the microscopic level and from individual breakthroughs to system integration. Below are just the main technologies for component-level miniaturization since the advent of the transistor.

Name	Year of development	Key technologies	Ideality
MOSFET	1959	The creation of two-dimensional (2D) structures on silicon wafers is the foundation of integrated circuits.	A benchmark scheme for evaluating subsequent technological idealism.
CMOS	1963	Using pairs of p-type and n-type transistors significantly reduces static power consumption.	Achieving a 100-fold reduction in the denominator due to "zero static power" is the greatest leap in the history of idealization.
HKMG	2007	First, a high-k HfO_2 dielectric + metal gate is introduced, followed by replication/ALD stacking to break down the SiO_2 tunneling barrier, achieving an equivalent oxide thickness of <1 nm.	The high-k sidewall reduces gate leakage by 100x while maintaining a low end-of-time (EOT), reducing the allowable voltage by 20%, and increasing the process window.
FinFET	2011	The transition from a two-dimensional plane to a three-dimensional "ribbed" transistor structure improves the gate's three-sided control over the channel.	3D triple-gate technology reduces the subthreshold swing from 100 mV/dec to 70 mV/dec, simultaneously reducing voltage and area.
GAA Nanosheet	2022	Further developments allow the gate to surround the channel on all four sides, providing maximum current control.	Four-sided gate + nanosheet stacking enables the first channel thickness of 3 nm while maintaining mobility, further reducing voltage by 0.7x.
CFET	2025-2030	The n- and p-sheets are vertically merged, sharing the source/drain and gate, eliminating the planar n-p isolation gap.	This reduces the area by 50% while maintaining four-sided gate control, increases the drive current by 20%, and is compatible with chip-level backplane power supply.
2D-CFET	2030+	An MX_2 /graphene monolayer channel is introduced, followed by a vertical merging of n/p atomic crystals.	The channel thickness is 0.6-1.2 nm. Quantum confinement is increased, and back-powered and four-sided gated technology are simultaneously used. The drive current is increased by 30%, and the subthreshold swing is reduced to below 60 mV/dec.

Пример: Развития системы «Микросхема» по направлению миниатюризации/ Example: Development of the "Microcircuit" system in the direction of miniaturization

Требование 1

Requirement 1

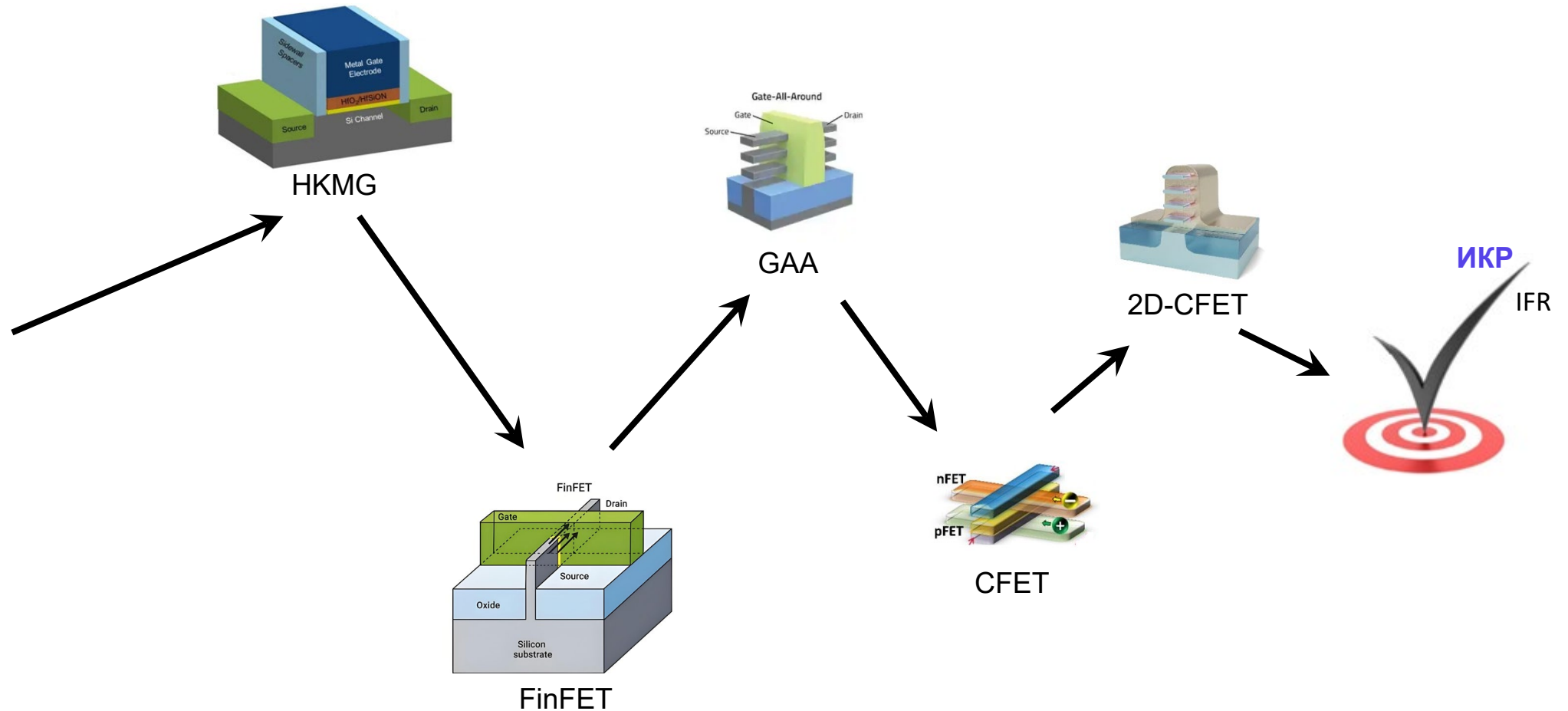


CMOS



Требование 2

Requirement 2



Ключевые шаги линии / Key steps of the lines

L5. Линия «моно – би – поли – свертывание»

Противоречие: Если к системе добавить новые системы, ТО можно увеличить функциональность и возможности нового комплекса, НО комплекс усложнится и потребуются дополнительные ресурсы

ИКР: Отсутствующая новая дополнительная система САМА увеличивает функциональность и новые возможности объединенного комплекса систем

L5. Line «mono – bi – poly – trimming»

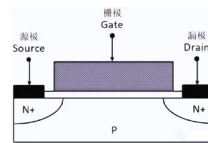
Contradiction: If new systems are added to the system, THEN it is possible to increase functionality and opportunities of a new complex, HOWEVER, the complex will be still more complicated and additional resources will be required

IFR: Absent new additional system will ITSELF increase its functionality and enhances new opportunities of united complex of systems.

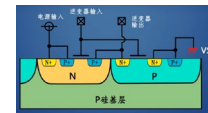
Переход от MOSFET к CMOS

Ключевые шаги :

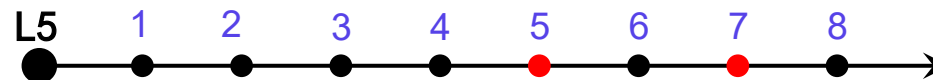
1.Добавить к системе еще одну такую же систему (бисистема); 2.Добавить к системе много таких же систем (полисистема); 3.В одинаковых объединенных системах делают разными некоторые характеристики; 4.Вместо объединения одинаковых систем объединяются разные системы; 5.Объединяются системы и антисистемы; 6.Много одинаковых частей разных систем объединяются в один элемент (частичное свертывание); 7.Развиваются связи между объединенными системами; 8.Свертывание би- и полисистем в моносистему с возможным повторением цикла образования полисистем.



MOSFET



CMOS



Объединяются системы и антисистемы

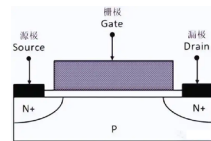
Развиваются связи между объединенными системами

L5. Линия «моно – би – поли – свертывание»

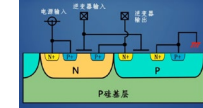
Transition from MOSFET to CMOS

Key steps:

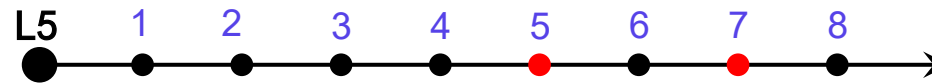
1. Add to the system another system of this type (bi-system) ; 2. Add to the system many similar systems (polysystem) ; 3. In similar integrated systems some characteristics are made different ; 4. Instead of integrating similar systems different systems are integrated ; 5. Systems and antisystems are integrated ; 6. Many similar parts of different systems are integrated into one element (partial trimming) ; 7. Bonds between integrated systems are developing ; 8. Trimming of bi- and polysystem into a monosystem with possible repetition of a cycle of origination of a polysystem



MOSFET



CMOS

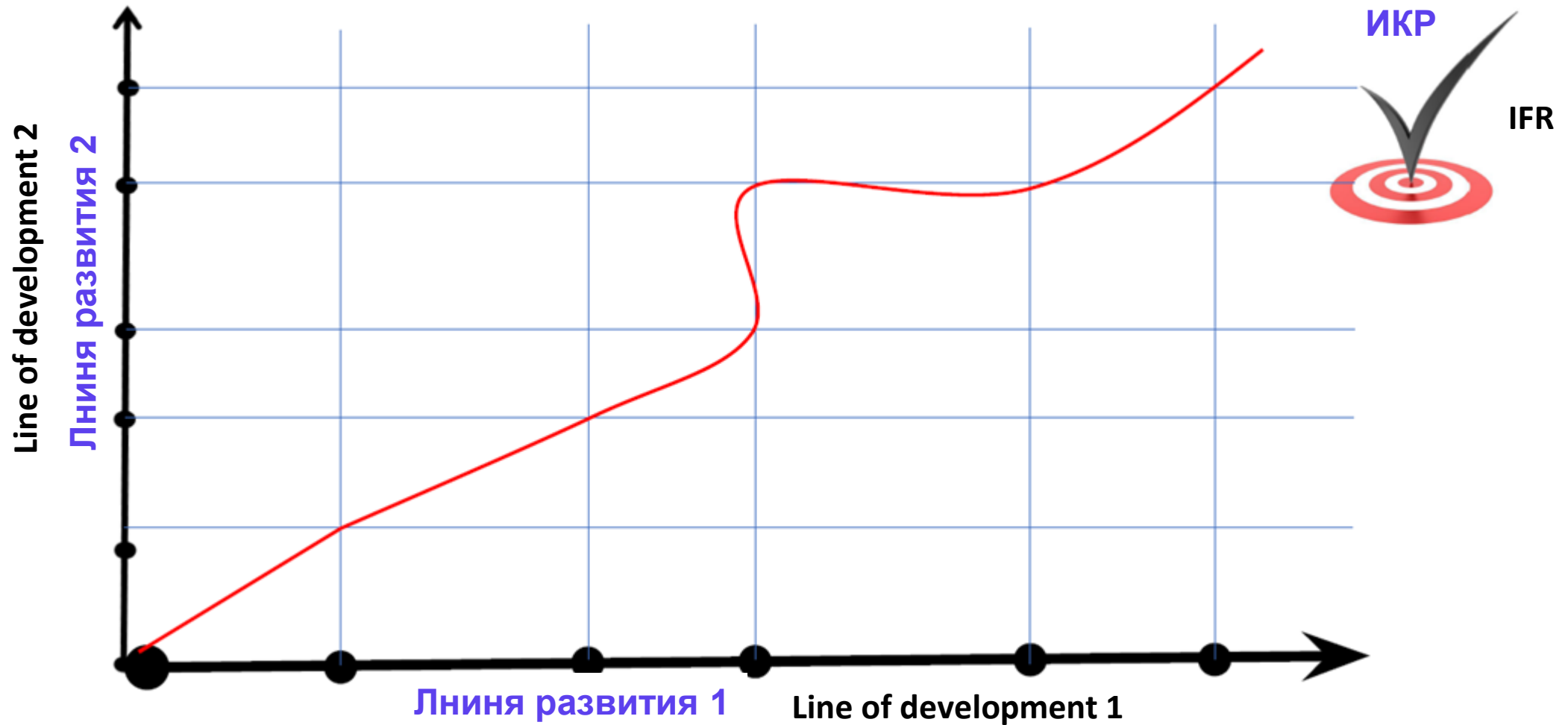


Объединяются системы и антисистемы

Развиваются связи между объединенными системами

L5. Линия «моно – би – поли – свертывание»

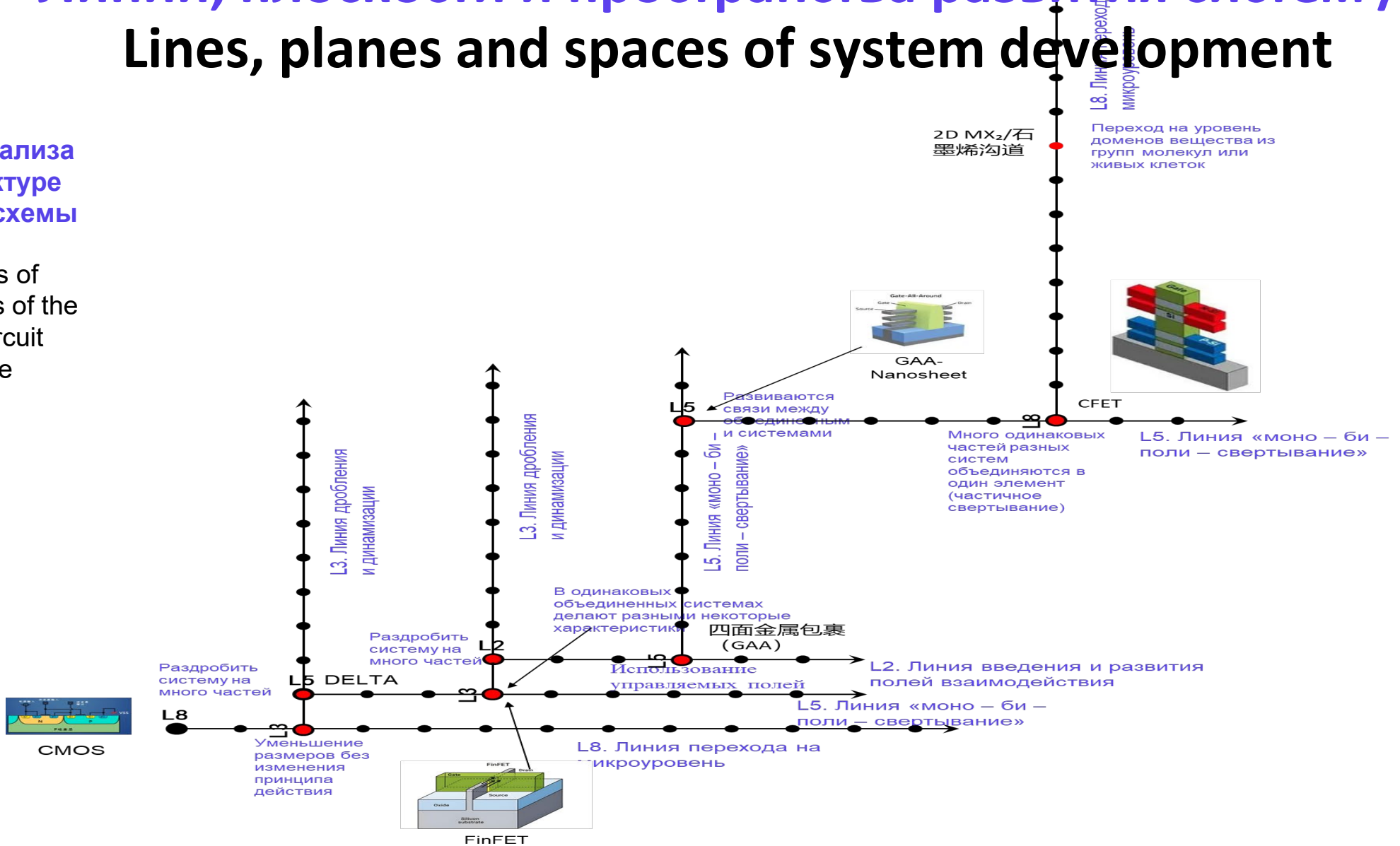
Линии, плоскости и пространства развития систем / Lines, planes and spaces of system development



Линии, плоскости и пространства развития систем / Lines, planes and spaces of system development

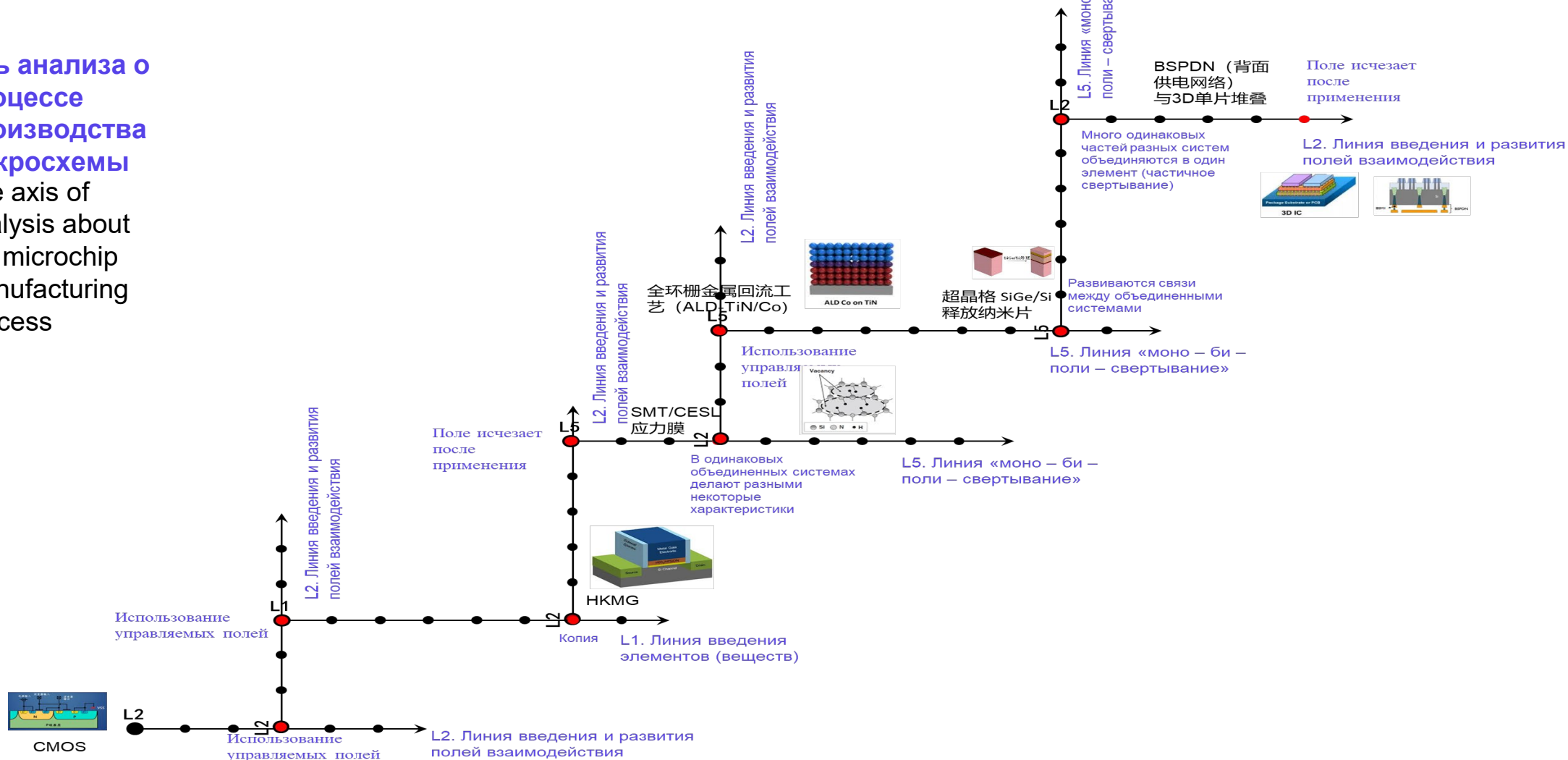
Ось анализа о структуре микросхемы

The axis of analysis of the microcircuit structure



Линии, плоскости и пространства развития систем / Lines, planes and spaces of system development

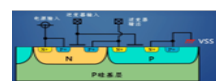
Ось анализа о
процессе
производства
микросхемы
The axis of
analysis about
the microchip
manufacturing
process



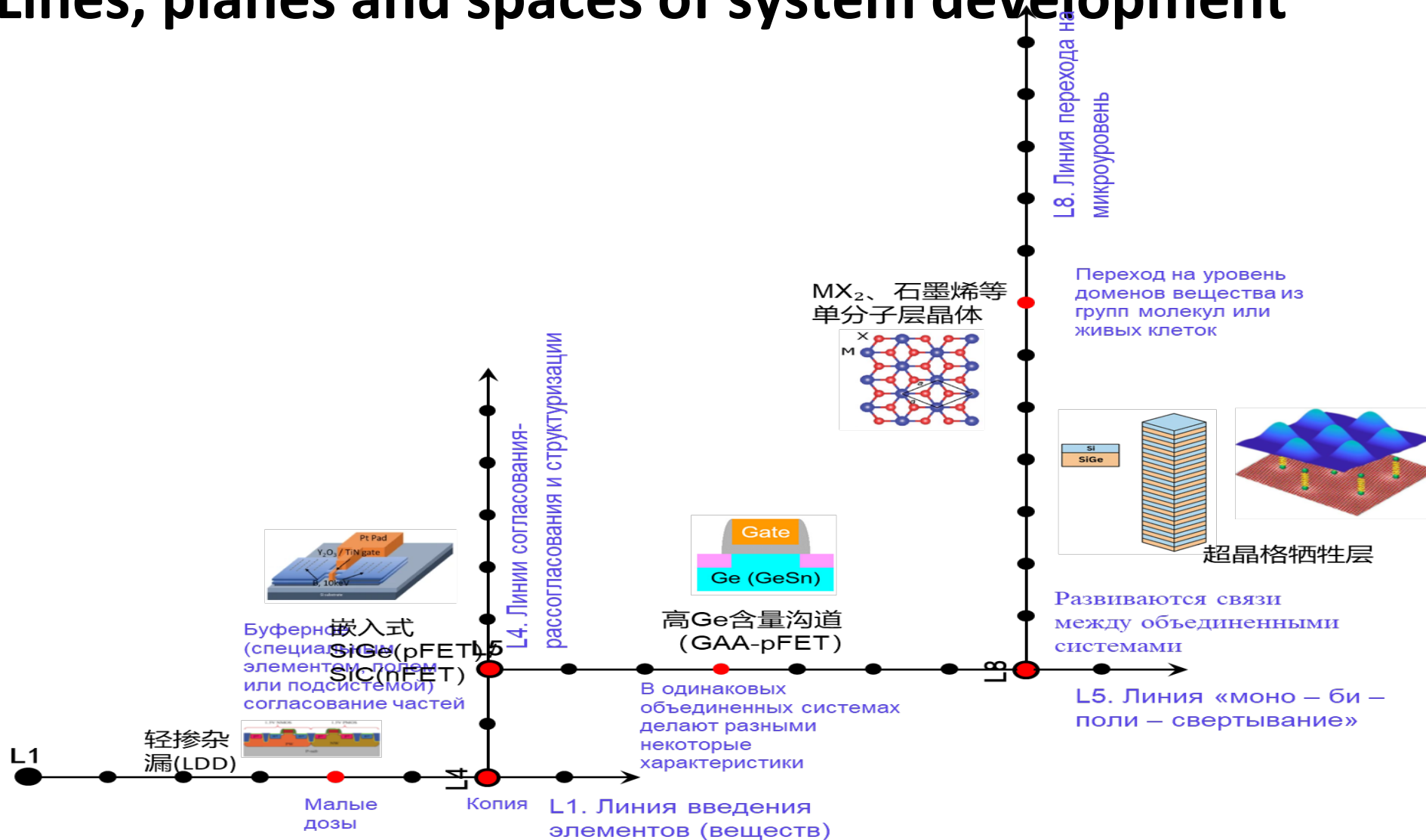
Линии, плоскости и пространства развития систем / Lines, planes and spaces of system development

Ось анализа
о материале
микросхемы

Axis of
analysis on
microcircuit
materials



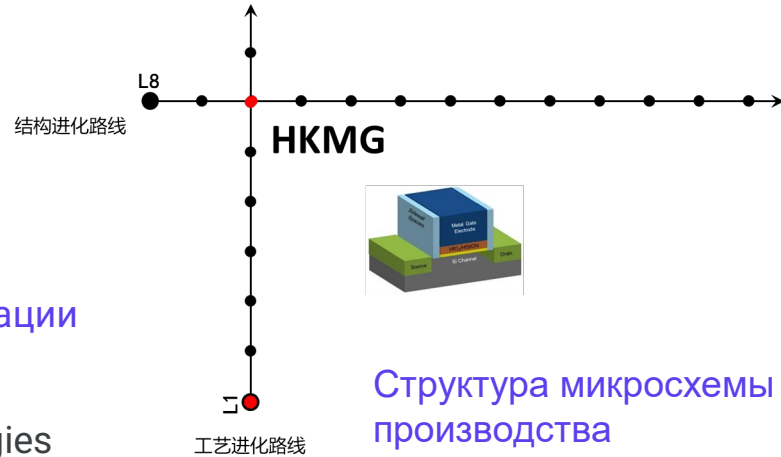
CMOS



Линии, плоскости и пространства развития систем / Lines, planes and spaces of system development

Ключевые
технологии
миниатюризации
микросхем

Key technologies
for microcircuit
miniaturization



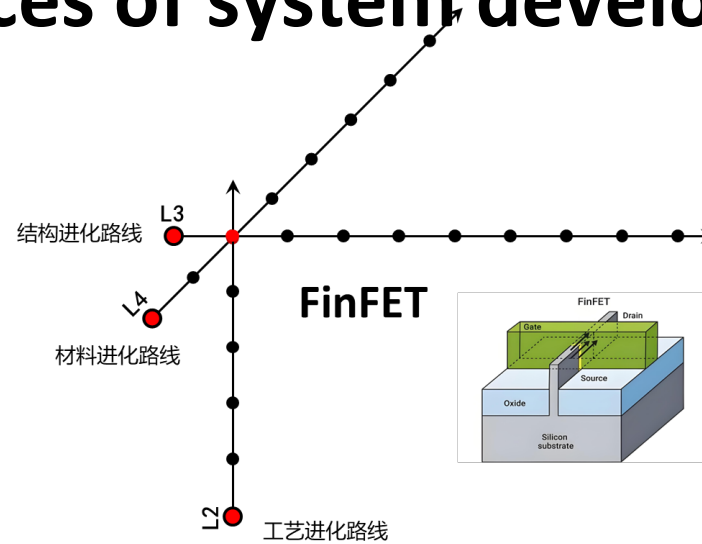
Структура микросхемы и
производства

Microchip structure and
manufacturing process



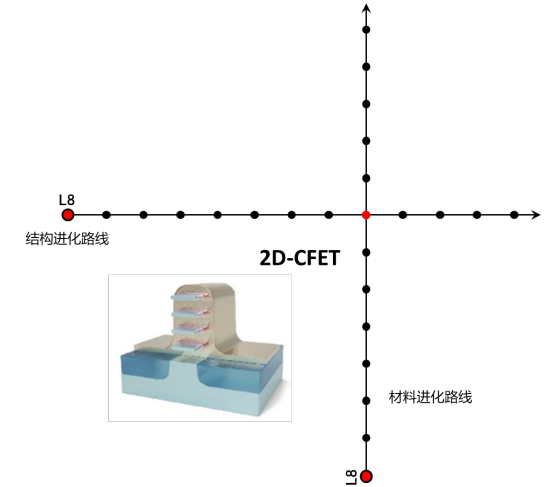
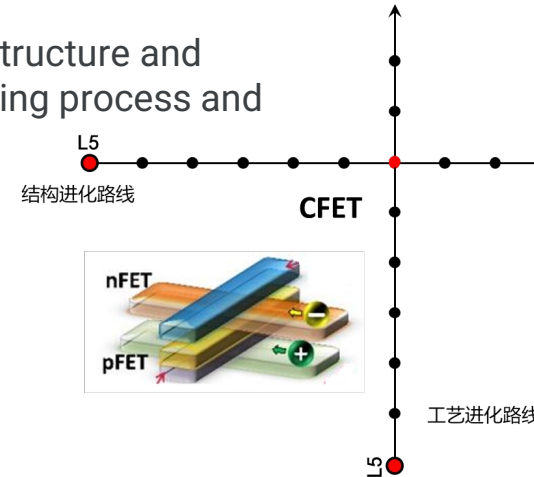
Структура микросхемы
и процесс производства и материал

Microchip structure and manufacturing
process and material



Структура микросхемы
и процесс производства и материал

Microchip structure and
manufacturing process and
material

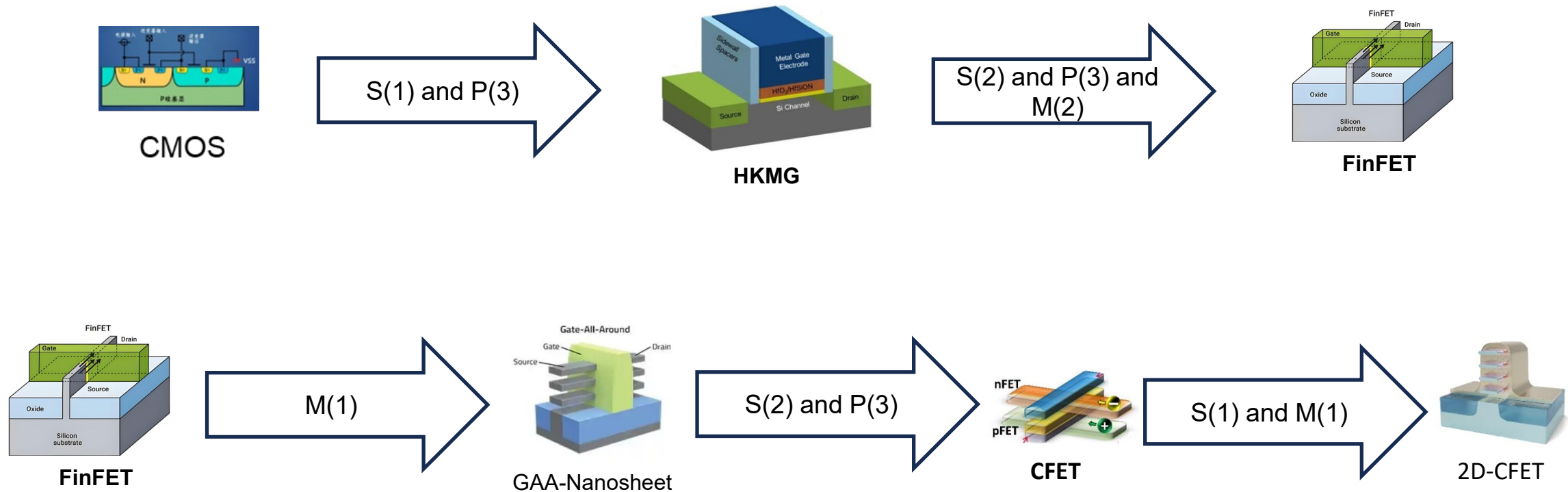


Структура микросхемы
и материал

Microchip structure and
material

Структура микросхемы
и процесс производства
Microchip structure and
manufacturing process

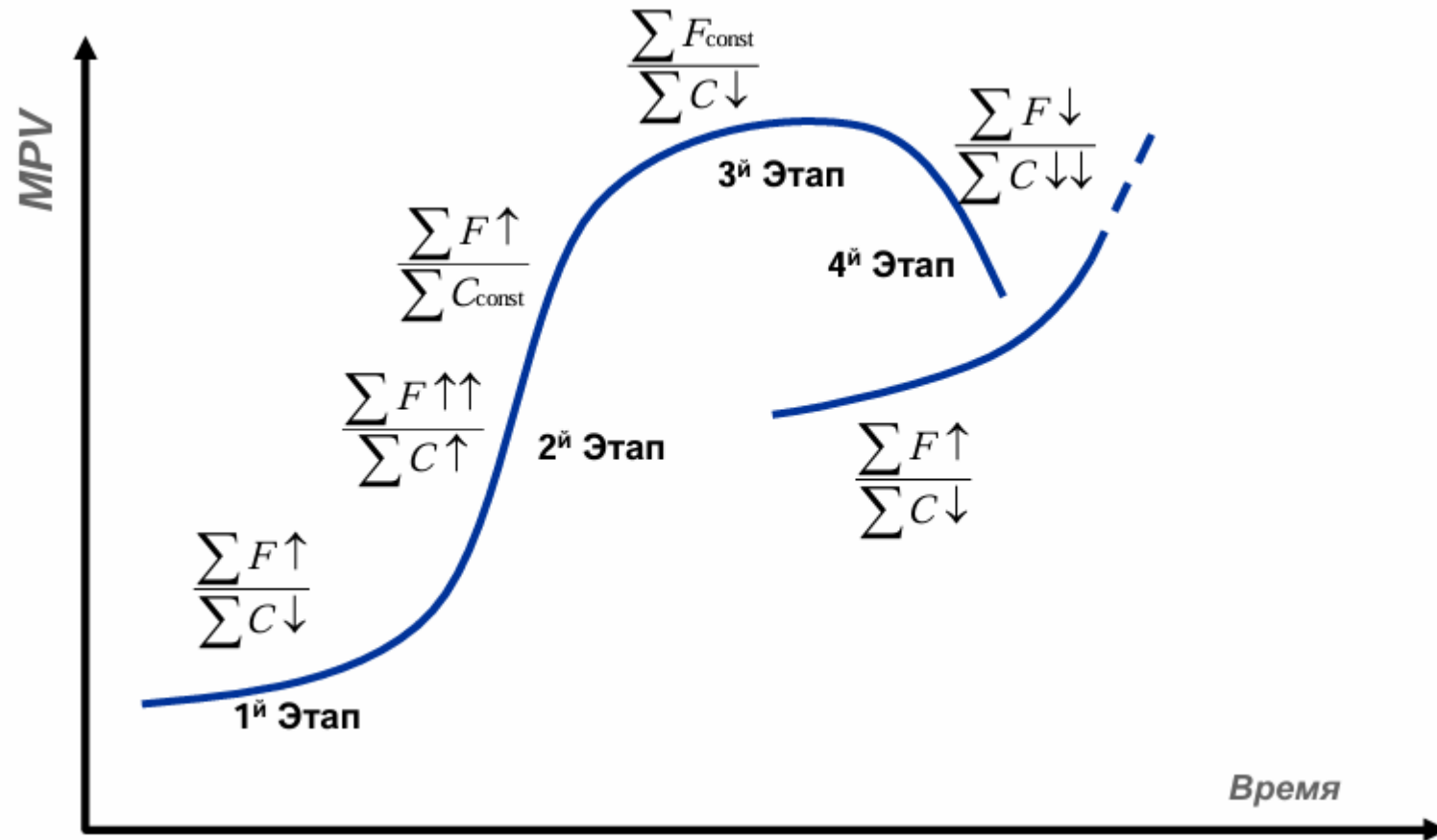
Общие линии развития системы микросхемы / General lines of development of the microcircuit system



Структура микросхемы : S (количество перехода линий)
 Процесс производства : P (количество перехода линий)
 Материал : M (количество перехода линий)

Chip structure : S (number of transition lines)
 Production process : P (number of line transitions)
 Material : M (number of line transitions)

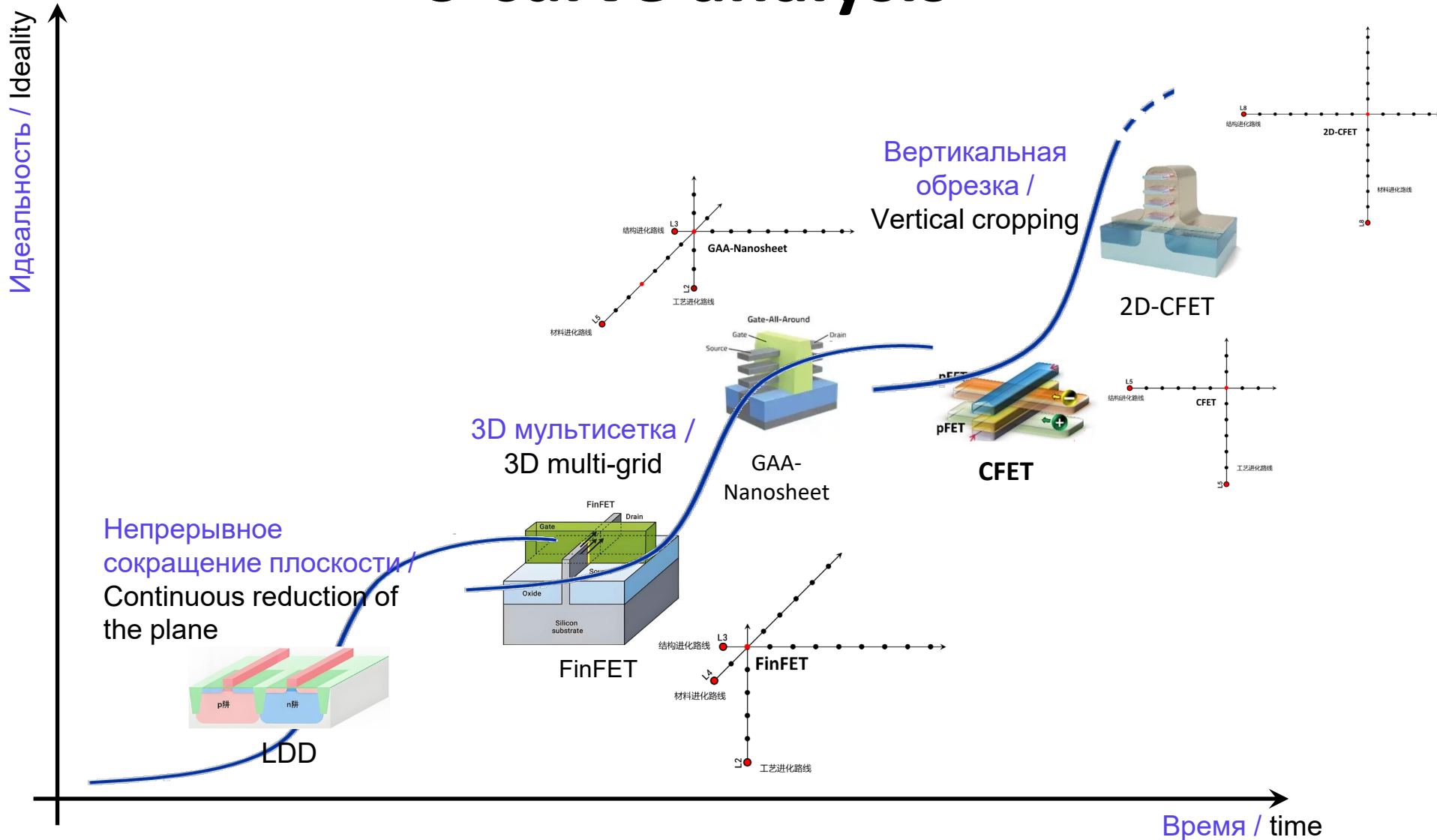
Закон повышения идеальности и S-образное развитие / The Law of Increasing Ideality and S-shaped Development



Анализ по линии S-образной кривой / S-curve analysis

Ось анализа
о структуре
микросхемы

The axis of
analysis of the
microcircuit
structure



Выводы / Conclusions

1. Линии, плоскости и пространства развития систем полностью соответствует фундаментальному принципу разрешения противоречий и продвижению к идеализации;
2. Линии, плоскости и пространства развития систем иллюстрирует историческую траекторию развития технологических систем в виде схемы;
3. Эта схема адекватно демонстрирует нелинейное развитие технологий;
4. Такой нелинейный формат представления более эффективно стимулирует инновационное мышление и указывает потенциальные направления развития в будущем;

1. The lines, planes, and spaces of system development fully correspond to the fundamental principle of resolving contradictions and moving toward idealization.
 2. The lines, planes, and spaces of system development illustrate the historical trajectory of technological systems in the form of a diagram.
 3. This diagram adequately demonstrates the nonlinear development of technologies.
 4. This nonlinear format of presentation more effectively stimulates innovative thinking and indicates potential directions for future development;
- Translated with DeepL.com (free version)

Выводы / Conclusions

- 5. Линии, плоскости и пространства развития систем согласуются с концепцией линии развития в соответствии с S-образной кривой;
- 6. При продвижении к идеальному конечному результату технологические системы также следуют линии S-образной, которая может включать в себя несколько S-образных кривых;
- 7. Интеграция анализа S-образной кривой в линии, плоскости и пространства развития систем обеспечивает более четкую иллюстрацию инновационного мыслительного процесса.

- 5. The lines, planes, and spaces of system development are consistent with the concept of a line of development in accordance with an S-curve evolution ;
- 6. As they move toward the ideal end result, technological systems also follow an S-shaped line, which may include several S-shaped curves;
- 7. Integrating S-curve analysis into the lines, planes, and spaces of system development provides a clearer illustration of the innovative thought process.

TRIZ SUMMIT 2025



Q&A SESSION



TRIZ SUMMIT 2025

THANK YOU!
Спасибо!

