



## ЭЛЕКТРОНИКА: ОТ "МИКРО" К "НАНО" И ДАЛЕЕ... ELECTRONICS: FROM "MICRO" TO "NANO" AND FURTHER LEVELS...

Рассказывает В.Д.Вернер  
Interview with V.Verner



Виталий Дмитриевич Вернер, доктор физико-математических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ. С 1967 года работает в Московском институте электронной техники (МИЭТ), в том числе 16 лет – проректором по научной работе и 10 лет – ректором. С 1998 года один из руководителей НПК "Технологический центр" МИЭТ. Автор более чем 250 научных трудов, 22 свидетельств на изобретения и патентов. Награжден орденами "За заслуги перед Отечеством" IV степени, Трудового Красного Знамени, "Дружбы народов", медалями; лауреат премии Правительства РФ.

Vitaly Dmitrievich Verner, Doctor of Physico-mathematical Sciences, Professor, Honored scientist of the Russian Federation. Since 1967 he works in Moscow Institute of electronic technology (MIET), including 16 years as a vice-rector on scientific work and 10 years as a rector. Since 1998, one of the executives of the CMC "Technological centre" of MIET. Author of more than 250

scientific papers and 22 patents. Awarded the order "For Merit to the Fatherland" of IV degree, "Order of the Labour red banner", "Order of Friendship of Peoples"; Laureate of the prize of the government of Russian Federation.

**В** этом номере мы начали публиковать (см. стр. 22-38) цикл статей, посвященных 50-летию закона Мура, в которых анализируется развитие электроники, проблемы масштабирования элементов ИС, рассматриваются тенденции, определяющие будущее отрасли. О том, как появилась идея этого цикла и о своем видении развития технологий рассказал один из авторов – Виталий Дмитриевич Вернер.

Виталий Дмитриевич, чем обусловлен ваш интерес к закону Мура, который и ранее неоднократно критиковался скептиками, а сегодня фактически утратил свою силу?

Заслуга Мура состоит в том, что он эмпирически установил и сформулировал закономерности в темпах развития электроники. Его роль не следует преувеличивать, но и нельзя недооценивать. Иногда говорят, что закон Мура создал электронную промышлен-

ность, хотя на самом деле все наоборот: люди, работающие в отрасли, своим трудом и энтузиазмом обеспечили ту тенденцию, которую отметил Мур. Тем не менее в течение десятилетий закон Мура играл роль лозунга развития электроники, определяя цели. Причем важным фактором стал общественный резонанс – сформулированные Муром принципы были известны и понятны не только специалистам отрасли, но и широкому кругу пользователей, что дополнительно способствовало росту рынка. Не будет преувеличением сказать, что закон Мура сыграл значительную роль в формировании современного информационного общества.

Как вы считаете, основу для дальнейшего развития электроники создают в большей степени классические или новые подходы?

Применительно к развитию электроники понятие о классических принципах размыто и условно,

так как уже в течение десятилетий оно базируется в том числе на квантовой физике. Я думаю, что в дальнейшем физическая основа будет расширяться, например, помимо электронно-дырочного перехода, будут все более широко использоваться туннельные эффекты и другие физические явления. Одно из многообещающих направлений – развитие оптоэлектроники с заменой электрической передачи информации более скоростными оптическими технологиями. При создании схем памяти хорошие результаты достигнуты на базе магнитных систем или устройств, использующих фазовые превращения. Тем не менее, пока новые подходы позволяют решать лишь сравнительно узкие группы задач, универсальной же альтернативы транзистору, которая обеспечила бы большую эффективность и хранения, и обработки информации, пока не видно.

**Какие возможности перед электроникой открывает развитие нанотехнологий?**

Производство современных ИС уже достаточно давно вышло на наноуровень, более того, минимальные размеры элементов уже доходят до 5 нм при том, что физически возможный предел составляет около 4 нм. Расширяется применение наноматериалов как в создании активных областей приборов, так и, например, в производстве резистов. Интересные перспективы открывает применение углеродных наноматериалов, которые в некоторых направлениях обеспечивают преимущества по быстрдействию, проводимости и т.д., хотя

пока на практике речь идет исключительно об их встраивании в полупроводниковые приборы, а не о замене последних. Повторюсь, что реальной альтернативы транзисторам пока не создано, например перспективы вакуумной электроники на базе углеродных нанотрубок в качестве таковой, на мой взгляд, не ясны.

**Можно ли, на ваш взгляд, провести границу между "традиционной" электроникой и нанoeлектроникой?**

С формальной точки зрения практически вся современная электроника относится к сфере нанотехнологий, так как характеристические размеры элементов функциональных структур уже достаточно давно перешли условную границу 100 нм. Тем не менее по ряду признаков можно попытаться отделить классические решения, вышедшие из эпохи микромасштабов, от принципиально новых технологий. В частности, если для первых свойственно развитие "сверху вниз", то есть постепенное уменьшение размеров структур, то вторые развиваются "снизу вверх" – совершенствуются технологии сборки, роста и другие способы создания систем из наноразмерных элементов.

**Насколько существенное влияние на внедрение новых технологий оказывают инфраструктурные ограничения?**

Инфраструктура имеет решающее значение. В нее вложены огромные средства, поэтому ключевым вопросом при внедрении новых разрабо-

**F**rom this issue we started publishing (see pp.22-38) a series of articles devoted to the 50th anniversary of Moore's Law, which describes the development of electronics, the problems of scaling elements of integral circuits, addresses the trends that define the future of the industry. Vitaly Verner, who is one of the authors, will tell us about the idea of publishing this series and about his vision of technology development.

Mr.Verner, what made you interested in Moore's Law, which was repeatedly criticized by skeptics,

and which has expired by the present?

Moore's merit was that he empirically determined and formulated regularities in the development rate of electronics. His role should not be exaggerated, but should not be underestimated either. Moore's Law is sometimes said to have created electronic industry, but, in fact, it is quite contrary: people working in the industry made the trend noted by Moore last with their hard work and enthusiasm. For several decades, however, Moore's law played the role of a slogan in the development of electronics

and defined its goals. Moreover, an important factor was the public opinion that the principles formulated by Moore were clear and understood not only by industry professionals, but also by a wide range of users, which further contributed to the market growth. It is no exaggeration that Moore's Law has played a significant role in the formation of the modern information society.

Which in your opinion is the main basis for the further development of electronics: the classic approach or the new one?

ток становится их совместимость с имеющимися технологиями. Показательный пример в этом отношении – производство МЭМС. Современные темпы роста этого направления стали возможны потому, что технологии хорошо совместимы с уже имевшейся в отрасли базой. Когда начался рост спроса на датчики для различных систем автоматизированного контроля, производство МЭМС стало бурно развиваться – сейчас большинство крупных производителей электронных компонентов располагают собственными подразделениями с соответствующей специализацией. Другие быстро растущие направления: гибкая и печатная электроника, дисплеи на органических светодиодах, также характеризуются либо относительной дешевизной создания новой производственной инфраструктуры, либо полной или частичной совместимостью с традиционными технологиями.

С точки зрения организации инфраструктуры, я сторонник принципов, которые использовались в советские времена. Тогда существовала система научных центров, включавших научно-исследовательский институт с собственным опытным производством и налаженную связь с массовым производством. Эта была достаточно гибкая система, которая себя оправдывала, поэтому очень жаль, что сейчас многие старые наработки в области инфраструктуры совершенно незаслуженно забыты.

#### Как вы оцениваете ближайшие перспективы развития электроники?

На современном этапе трудности связаны с тем, что технологические инновации, например новые способы литографии, новые пластины и т.д., приводят к существенному удорожанию всего производства. Поэтому возникает философский вопрос:

насколько человечеству необходимо, чтобы развитие технологии шло темпами, которые когда-то были заданы законом Мура? Может быть в этом нет особой нужды, если уже имеются хорошие, проверенные практикой решения? В теории создано много новых идей и направлений, но на практике большинство из них не готовы конкурировать с уже имеющимися технологиями и, в лучшем случае, находят применение для решения узкоспециальных задач. Например, есть эффективные и красивые научные результаты в области квантовых вычислений, но работоспособного квантового компьютера пока не создано, и не очевидно, что в ближайшее время он будет востребован человечеством.

Одно из существенных изменений, произошедших в последние 10–20 лет, – выход на первые роли рынка массовой продукции, который стал главной движущей силой развития электроники. Когда-то приоритетом было создание суперкомпьютеров для решения научных задач, сейчас – мобильных устройств, которым не требуются высокие вычислительные мощности, а также реализация так называемого Интернета вещей или "интернета для всего". Таким образом, актуальной задачей становится не только и не столько улучшение компонентной базы электроники, сколько освоение новых областей применения.

Подводя итоги, хотелось бы отметить, что для развития электроники очень важно привлекать внимание к ее проблемам, задачам, возможностям, чтобы отрасль пополнялась новыми кадрами. В этой связи сложно переоценить роль СМИ, в частности, отраслевых изданий.

Спасибо за интересную беседу.

С В.Д.Вернером беседовал Д.Ю.Гудилин

The concept of classical principles is vague and arbitrary in relation to the development of electronics, because for decades it was based inter alia on quantum physics. I believe that the physical basis will expand in the future, for example, besides the electron-hole transition, tunneling effects and other physical phenomena will be increasingly used, too. One of the promising areas is the development of optoelectronics replacing

electrical transmission of information using high-speed optical technologies. When memory chips were created, good results were achieved by using magnetic systems or devices with phase transformation. However, new techniques allow us to solve a relatively narrow scope of tasks. No universal alternative to a transistor, ensuring greater efficiency of information storage and processing, has been discovered so far.

#### What new opportunities appear in electronics with the development of nanotechnology?

The manufacture of today's integral circuits switched to a nanolevel quite a long time ago. Moreover, the minimum size of elements has already reached 5 nm, while the physically possible limit is about 4 nm. The use of nanomaterials is expanding both in the creation of active areas in devices and, for example, in the

production of resists. Interesting perspectives are opening up with the use of carbon nanomaterials, which oftentimes provide advantages in speed, conductivity, etc., though in practice it is only about their integration into a semiconductor device, rather than replacing the latter. Again, a real alternative to the transistors is not yet found; for example, the prospects of vacuum electronics based on carbon nanotubes as such, in my opinion, are not clear.

**Is it possible in your opinion to distinguish between "traditional" electronics and nanoelectronics?**

From a formal point of view, almost all modern electronics relate to the nanotechnology field, because the characteristic dimensions of functional elements already went beyond the provisional threshold of 100 nm quite a long time ago. However, regarding a number of features, you can try to distinguish between classical solutions that appeared in the era of micro-scale and fundamentally new technologies. In particular, if classical solutions are characterized by "top-down" development, i.e. gradual decrease in the size of structures, new solutions are developing "bottom-up" - via improvements of assembly and growth techniques, and other ways of creating systems from nanoscale elements.

**What material impact do infrastructural constraints have on the introduction of new technologies?**

Infrastructure is crucial. Huge amounts of money was invested in it, so a key issue when introducing new solutions is their compatibility with the existing technologies. An illustrative

example in this regard is the production of MEMS. The current growth rate in this area became possible because this technology is highly compatible with the existing industry. When the demand started growing for sensors used in a variety of automated control systems, the manufacture of MEMS began to develop dramatically - currently, most of the major manufacturers of electronic components have their own units with appropriate expertise. Other fast growing areas, such as flexible and printed electronics or displays based on organic light-emitting diodes, are also characterized by either relative cheapness of creating a new production infrastructure, or by full / partial compatibility with the traditional technologies.

From the point of view of organizational infrastructure, I am a supporter of the principles used in Soviet times. Then, there existed a system of research centers, including research institutes with their own pilot production facilities and well-established links with mass production. It was quite a flexible system, which was well built, so it is a pity that so many of the old practices in the area of infrastructure have been undeservedly forgotten.

**What do you think about the near future prospects of electronics development?**

At present, difficulties are related to the fact that technological innovations, such as new methods of lithography, new platelets, etc. require a substantial increase in the cost of the entire production. Thus, a philosophical question is, "to what extent does the humanity need to maintain the technology development

pace that was once set by Moore's Law?" Maybe, there is no particular need, because very good and well-proven solutions already exist? A lot of new ideas and areas have been generated theoretically, but in practice, most of them are not ready to compete with existing technologies and, at best, are used to solve very narrow specific tasks. For example, there are spectacular ideas and excellent scientific results in the field of quantum computing, but a functioning quantum computer has not yet been created, and it is not obvious if people will soon require it.

One of the significant changes, which occurred in the past 10 to 20 years, was gaining the foreground role in the market of mass production, which became the major driving force behind the development of electronics. In the past, the priority issue was about the creation of supercomputers to resolve research problems. Currently, the issue is about mobile devices that do not require high computing power and the implementation of the so-called "Internet of things" or "Internet for all". Thus, the urgent task is not only and not so much about the improvement of electronic components, but is more about the development of new application areas.

In summary, I would like to note that for the development of electronics it is very important to draw attention to its problems, challenges and opportunities, so the industry is replenished with new specialists. In this regard, it is hard to overestimate the role of mass media, in particular, industry publications.

**Thanks for the interesting story.** The interview was taken by D.Gudilin