

## To the History of Discovery and the First Application of Giant Magnetic Resistance

Benjamin F. Dorfman, Clarkson University

On the following two pages, the excerpts from Proceedings of Institute of Electronic Controlling Machines, Moscow, 1977 (Институт Электронных Управляющих Машин, ИНЭУМ) and a certified personal document briefly describe the contact-free Giant Magnetoresistor sensor of currents in the computer printing boards built and practically employed in 1976. The Giant Magnetoresistance was found in the same year 1976 in ordered eutectic in InSb heavily doped by Ni in other Moscow institute: State Institute of Rare Metals (Государственный Институт Редких Металлов, ГИРЕДМЕТ). Structurally, the eutectic was a superlattice of self-formed alternating ferromagnetic – ‘nonmagnetic’ layers (self-formed ordered nanostructure, it could be named today). In strong magnetic fields, near saturation, the resistance increased up to about  $40 R_0$ .

Here is a brief history of this work. In January 1976, while working in ИНЭУМ, I was requested from the Department of Computer Diagnostics: “We urgently need a contact-free detector of current and short circuits in printing board. The diagnostic system cannot detect these typical defects, and getting worse, when they occurred, the diagnostic becomes impossible for the entire board. We do not know if such sensor is physically possible, but if it is possible, we need it before December”. First, I tried to find the ready sensor. Firstly in my life and the only once at all, I was looking for solution in secrete organizations, all named by “Post Box Number...” («Почтовые ящики»). I must tell: when the true secrecy was not required, as in the case of such sensors, people of those organizations in my experience were friendly and ready to help. I collected a few sensors based on Hall’s effect, conventional magnetoresistors, and electromagnetic one. The conventional magnetoresistors had unfeasibly low sensitivity; sensitivity of electromagnetic sensors was in principally feasible range, but still low; the Hall’ sensor were unstable, and each sensor actually had its own characteristic. Just for a case, I visited ГИРЕДМЕТ where I had excellent relationship in the past, including personal connection with its earlier leaders academicians N.P. Sazhin and B.A. Sakharov (although both died before this story). I was directed to a small research group working with InSb. They were searching for improved Hall’s sensor, but founded the giant magnetoresistance instead. They were amazed and inspired with their discovery, manufactured a few samples – open crystals about  $2 \times 2 \times 0.2$  mm with free hanging micro-wire leads. They also visited many “Post Box Numbers” with efforts to find applications for their wonderful discovery – with disappointing results. They were happy to give me couple sensors. There were two technical problems in their application to our task: the steep dependence  $R(H)$  observed in strong bias magnetic fields only; in the steep band of H, they were very sensitive to external noise. The second problem had been solved with irregular-frequency test-signal (325 Hz) with narrow-band filtration and tunable threshold in detecting block; the first problem was solved with SmCo magnets (developed just recently prior to that) combined with a nicely designed magneto-conducting structure of device. Indeed, this resulted with strong directness of our micro-antenna (I would use the term – anisotropy), that allowed an additional increasing of actual scanning resolution and reliability of the current detection. The device was ready in time and solved the requested diagnostic problem. It worked during many years afterwards without a failure. Bell Labs described similar development soon afterwards, but based on a conventional electromagnetic sensor and with inferior characteristics vs. detector developed in ИНЭУМ with crystals created in ГИРЕДМЕТ.

To finish the story: We could not publish our joint work because of secrecy reasons in ГИРЕДМЕТ. In our publication in Proceedings of Institute of ИНЭУМ we did not mention any data developed in ГИРЕДМЕТ not even due to secrecy, but because it would be incorrect without the creators of crystals. In Report, we named the structure, the effect and their authors. Prior to this web publication, I tried to make it jointly with both Russian institutions. The ИНЭУМ’s director did not respond, as it was expected: from 1972 to 1977, I was harshly persecuted on my job. More than that, my former colleagues informed me that all precious documents and technical remnants of the past had been ruthlessly burned out (fortunately, proceedings and reports are preserved in major libraries).

But ГИРЕДМЕТ did respond with some delay due to earnest analysis of the remote past work.

Here is the answer (in Russian) by Director of this major Russian Institute in the field, as well as its translation:

Dear Veniamin Fridelevich!

With great interest, I have read your letter. Thank you for high evaluation of the results having been received by employees of our Institute more than 30 years ago.

Unfortunately, the time is inexorably running ahead, and most of those who conducted

these researches in ordered eutectics are not between the living people, the rest – had retired long ago. If you can afford a publication without their participation, but with the necessary mentioning the role of Institute in solution the problem, we would welcome it from our side. From the Institute' side, in this works participated L.Y.Krol, V.S. Vekshina, V.N.Kuzmin (Л.Я Кроль, В.С. Векшина, В.Н. Кузьмин).

With best wishes,

Y.N.Parkhomenko

Уважаемый Вениамин Фриделевич!

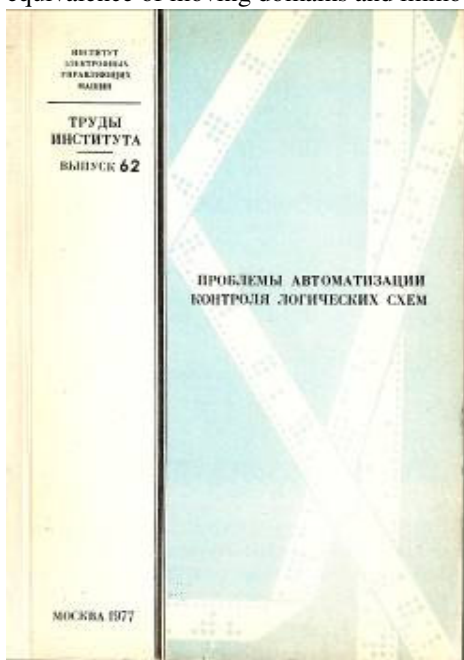
С большим интересом прочитал Ваше письмо. Спасибо за высокую оценку результатов, полученных сотрудниками нашего института более 30 лет тому назад. К сожалению, время неумолимо бежит вперед и большинства из тех, кто проводил исследования по упорядоченным эвтектикам, уже нет в живых, а остальные - давно на пенсии. Если Вы осилите публикацию без их участия, но с обязательным упоминанием роли института в решении этой проблемы, то мы со своей стороны будем это приветствовать. Со стороны института в этих работах принимали участие Л.Я Кроль, В.С. Векшина, В.Н. Кузьмин.

С наилучшими пожеланиями,

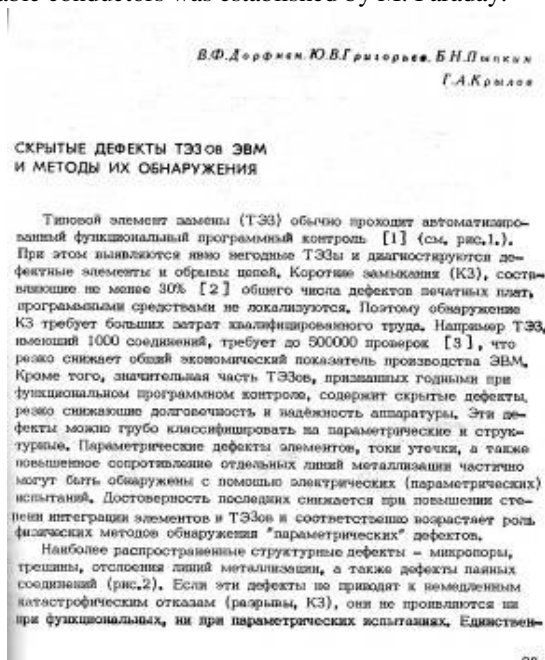
Ю Н. Пархоменко

This story naming both institutions ИНЭУМ and ГИРЕДМЕТ was also briefly described in Reminiscences of Atlantis, Hudson Books, NY, 2005, p. 474 (В.Ф.Дорфман, Воспоминания об Атлантиде. ISBN 0-9767789-5-5. LCCN 2005930371. It is the second edition. The first was published in 2004).

Finally: Comparing this early development with contemporary structure and the main applications of giant magnetic resistors, one would instantly notice two differences: 1. Contemporary sensors rewarded with Noble Price in 2007 are based on thin metallic films vs. semiconductor early sensor of ГИРЕДМЕТ. 2. Contemporary applications are based on reading of domain structure in fast rotating disk, while the ИНЭУМ's detector was employed for currents in immovable board. However, the principle structures of both kinds of giant magnetic resistors are equal: alternating ferromagnetic – 'nonmagnetic' layers. As for the second difference, the principle equivalence of moving domains and immovable conductors was established by M. Faraday.



Left: Front cover of Proceedings of INEUM, Moscow, 1977



Right: First page of paper: Latent defects of Computers' Hardware and Methods of Their Detection, by V.F.Dorfman, Y.V.Grigoriev, B.N.Pypkin and G.A.Krylov.

Другой магнеточувствительный эффект — "изгибная деформация", т.е. изменение удельного сопротивления образца, возникающее в магнитное поле, обусловлено "поперечным" и "продольным" деформациями в направлении поля магнитосопротивления. Размещение датчика решено как более чувствительное. Его величина определяется соотношением (в слабых полях) [8]:

$$\frac{R(H) - R(0)}{R(0)} \approx (\omega_L \tau)^2 \quad (1)$$

где  $R(H)$  и  $R(0)$  — удельное сопротивление в поле и без поля,  $\omega_L$  — циклотронная частота,  $\tau$  — время релаксации носителей. Значение этого эффекта от поля определяется соотношением

$$\omega_L = -\frac{eH}{mc} \quad (2)$$

а от материала

$$\tau = \frac{\mu_e - m_e}{e} \quad (3)$$

где  $m_e$  — эффективная масса носителей тока.

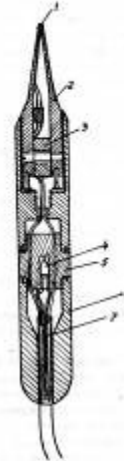
Из (2), (3) видно, что магнитосопротивление пропорционально квадрату напряженности магнитного поля. В сильных полях зависимость становится линейной. Поэтому, имея в постоянном поле сравнение, можно обеспечить высокую чувствительность датчика.

Для  $\text{InSb}$  например,  $\tau \approx 10^{-11}$  с, а эффект, определенный соотношением (2) и (3), составляет  $\sim 10^{-9}$  в поле 30 Гс, т.е. около 100 мкВ/Гс. Существуют также комбинированные магнеторезисторы с повышенной чувствительностью. Отметим, что эффективные датчики также могут быть построены также на основе магнетодиодов или магнеточувствительных транзисторов. Эти приборы могут использоваться либо в качестве бесконтактных внешних осцилло, либо входить в структуру БИС и подвергаться воздействию внешнего поля (с целью управляемой коммутации).

В Институте на основе твердотельных магнеточувствительных датчиков разработана прибор для бесконтактного обнаружения коротких замыканий. Зона прибора с магнеточувствительным датчиком и световым индикатором КЗ показан на рис. 7. Зона имеет диаметр головки 2 мм и вес 50 г. В режиме сканирования он обеспечивает показание КЗ с точностью  $\pm 300$  мкм. Зона подключается к пере-

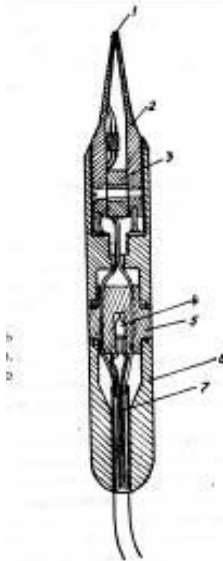
дающему блоку, обеспечивающему постоянный ток, источник тест-сигнала с частотой 325 Гц, усилитель сигнала датчика с узкополосным фильтром и звуковой индикатор КЗ. Таблицы блока КЗ  $100 \times 230 \times 100$  мм. Для осуществления контроля на короткозамкнутый контур подается тест-сигнал. Это достигается с помощью микрокалориметра, присоединяемого к выходу интегральных схем или других элементов. Тест-сигналы ограничиваются по напряжению величиной 0,25 В, что полностью исключает возможность повреждения внутренних элементов. Прибор прост в эксплуатации и не требует специальной подготовки оператора.

Таким образом, современные твердотельные магнеточувствительные датчики позволяют осуществлять эффективный контроль коротких замыканий в ТЭДх, а в перспективе — бесконтактный контроль также в режиме сигнальных токов. Важно, что бесконтактная зона малогабаритна, проста в обращении, а процесс извлечения может быть автоматизирован.



Бесконтактный магнеторезистивный зонд детектора коротких замыканий  
1. Магнеторезистор.  
2. Магнетодиод.  
3. Постоянный магнит.  
4. Индикаторная лампочка.  
5. Индикаторное окошко.  
6. Держатель.  
7. Соединительные проводки.

П-2. Контроль дефектов печатных плат методом проникающих (аэрофизических красителей) (ПФК).  
Метод контроля с помощью аэрофизических красителей предназначен для обнаружения микротрещин, отслоений припайки металлизации,



Бесконтактный магнеторезистивный зонд детектора коротких замыканий  
1. Магнеторезистор.  
2. Магнетодиод.  
3. Постоянный магнит.  
4. Индикаторная лампочка.  
5. Индикаторное окошко.  
6. Держатель.  
7. Соединительные проводки.

Top and left: Pages 72-73 of Proceedings of INEUM, Moscow, 1977 Disclosing the Detector with magnetoresistor. The main characteristics: Diameter of head 2mm. Weight 50g. Scanning resolution  $\pm 300 \mu\text{m}$  Frequency of test-signal: 325 Hz (with narrow-band filtration and tunable threshold in detecting block). Combined light-diode, sound and meter detection: 1- magnetoresistor; 2 – magneto-conductors; 3 – Permanent magnet (*Sm-Co - BFD*); 4 – light indicator; 5 – indicator-windows; 6 – Holder; 7 – external wires.  
Bottom: from my list of publication certified with seal and official signature: Contact-Free Detector of Currents and Short Circuits with **Magnetoresistor sensor based on NiSb-InSb Supperlattice**. Report of INEUM, 1976

окем			
61	Бесконтактный детектор	Рукописи Отчет ИИЭИ 1976	Ин.д. Г.А.Крылов, Б.Н.Пышкин
	тор токов и коротких замыканий с магнеторезистивным датчиком на сверхрешетке NiSb-InSb		
	Список подписывает автором и заверяется руководством учреждения. <i>Григорьев</i>		
	и.п.	15 июня	1976
	Заведующий, Зам. директора Института <i>Григорьев</i>		З.В.Кекек