



**БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ  
ИНСТИТУТ ПО СИСТЕМНО ИНЖЕНЕРСТВО И РОБОТИКА**



**ОП “Развитие на човешките ресурси”, МОМН**

**Договор BG051PO001-3.3.06-0002**



***„Върху сензориката на магнитното поле  
или за една невидима революция ”***

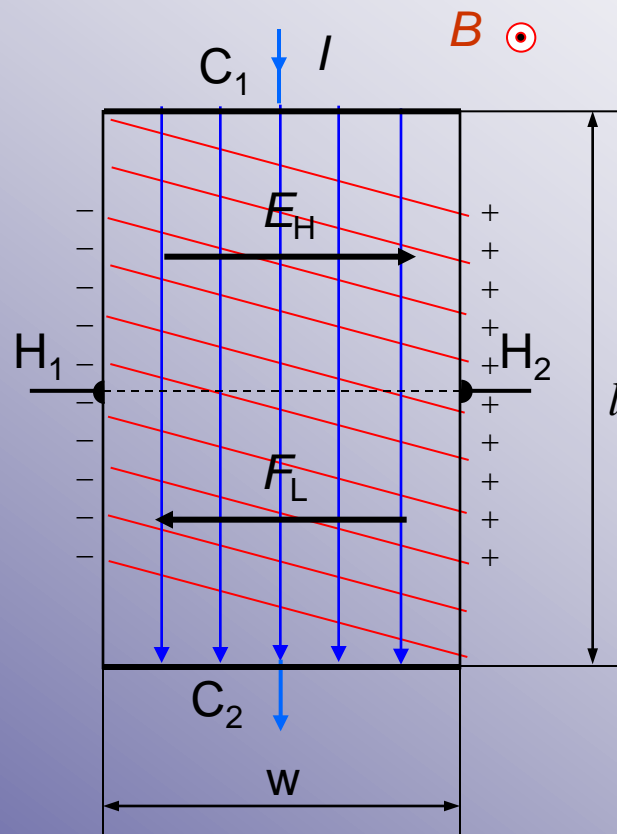
**Лектор: Проф. Сия Лозанова**

# СЪДЪРЖАНИЕ

1. Въведение.
2. За “дългата ръка” на ефекта на Хол или за полупроводниковите структури с равнинна магниточувствителност
3. “Тихата революция” или нов поглед към сензориката на ефекта на Хол в електронните системи
4. Експериментални демонстрации на ефекта на Хол с електромагнит в лаборатория “Магнитни измервания” на ИСИР-БАН



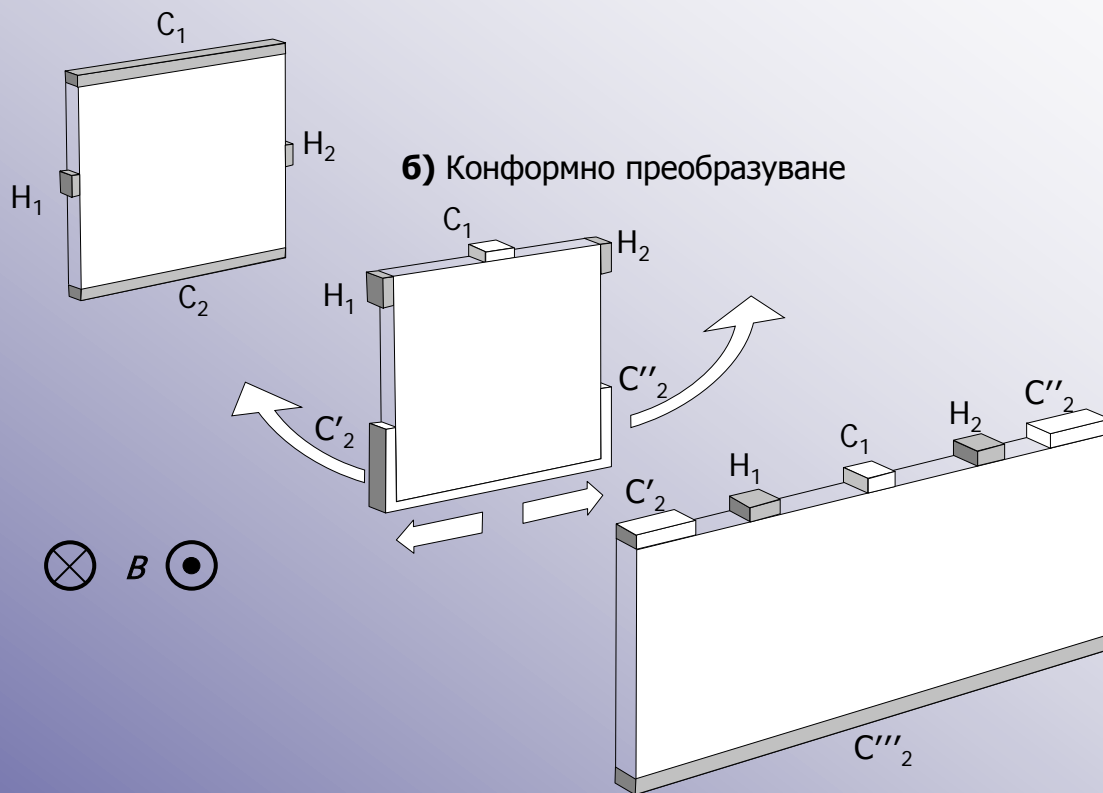
# Ефектът на Хол – какъвто го познаваме



Класическа структура за наблюдение на ефекта на Хол



**а)** Конвенционален сензор на Хол



*Трансформация на класически ортогонален сензор на Хол (а) в елемент с паралелна ос на чувствителност (в), съгласно метода на конформното преобразуване (б).*

Както се вижда от фиг. (в), чрез конформното преобразуване т.е. “разгъването” върху повърхност, класическият елемент на Хол го превърнахме в петконтактен сензор с равнинна магниточувствителност. Контактите могат да станат и 4 като през един са захранващите, а през един изходните. Колкото са по-малко контактите, толкова по-добре за микроелектронните реализации.

## *Актуалност на проблема*

➤ *На първо място* това е въпросът за *минималния брой контакти*, чрез които може да се реализира този вид сензори. Понижаването броя на изводите, например, до три би довело до сериозно опростяване и намаляване размерите на конструкцията



## *Актуалност на проблема*

➤ *На второ място* това е редуцирането на чувствителността на елементите на Хол с паралелна ос на активиране от повишената проводимост в приповърхностната област на силиция, където са разположени токовите и Холовите контакти .

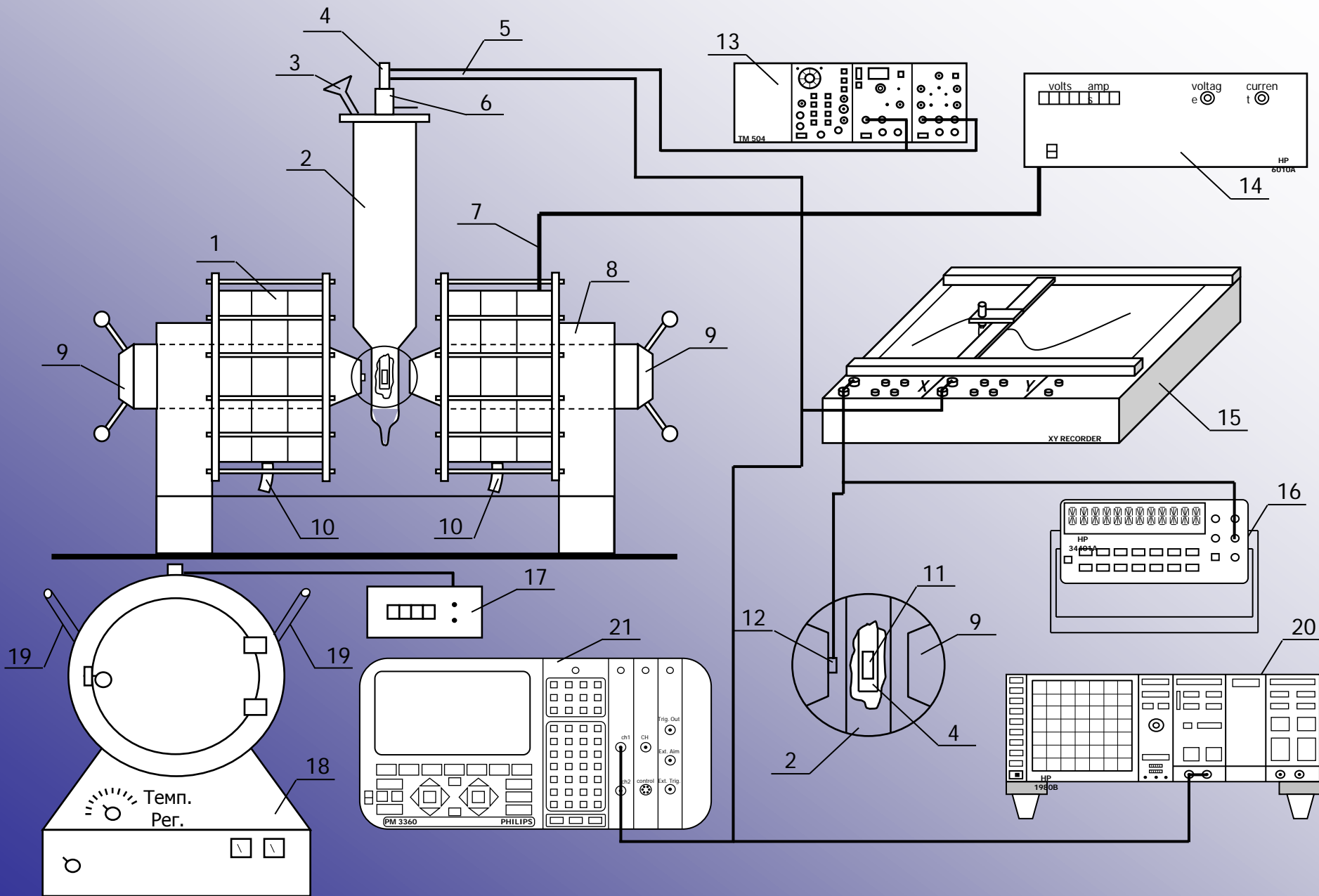


## Класификация на основните характеристики на сензорите за магнитно поле

$OUT(B)_{C = \text{const}}$	$OUT(C)_{B = \text{const}}$	SD
<i>Магниточувствителност</i>	<i>Шум</i>	<i>Захранване</i>
<i>Линейност</i>	<i>Остатъчен изх. сигнал (офсет)</i>	<i>Входно съпротивление</i>
<i>Обхват на магн. поле</i>	<i>Паразитна чувствителност</i>	<i>Изходно съпротивление</i>
<i>Работна честота</i>	<i>Дрейф, в т.ч. на нулата</i>	<i>Габарити на корпуса</i>
<i>Магниточувствителна ос</i>	<i>Пълзене</i>	<i>Тегло</i>
<i>Разделителна способност</i>	<i>Температурна грешка</i>	<i>Тип корпус</i>
<i>Точност</i>	<i>Надеждност</i>	<i>Сензорен материал</i>
<i>Хистерезис</i>	<i>Стабилност</i>	<i>Работна среда</i>
<i>Грешка (вкл. реверсивна)</i>	<i>Време на сработване</i>	
<i>Форма на изх. сигнал</i>		
<i>Възпроизводимост</i>		



# Принципната блок-схема на експерименталната постановка



# Легенда

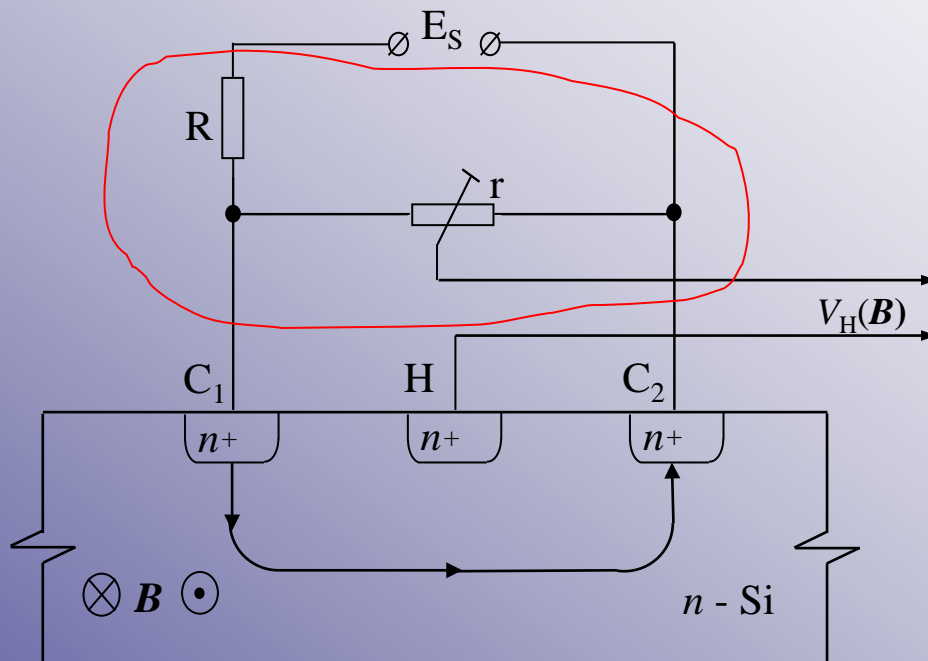
- 1 – Електромагнит с водно охлаждане от тип на Вайс;
- 2 – Криостат (Дюаров съд);
- 3 – Отверстие за заливане с течен азот;
- 4 – Немагнитен държател с образците;
- 5 – Проводници;
- 6 – Бленда за контролиране на ъгловото завъртане на държателя с образците;
- 7 – Постояннотоково захранване на електромагнита;
- 8 – Ярмо на електромагнита;
- 9 – Полюси на електромагнита от пермендюр с  $\Phi = 60$  mm;
- 10 – Водно охлаждане;
- 11 – Изследвани образци;
- 12 – Калибриран Холов сензор тип KSY 14 за определяне посоката и силата на полето на електромагнита;
- 13 – Захранване на образците чрез блок TEKTRONIX TM 504 (FG 501A, PS 501 – 1, PS 503A);
- 14 – Захранващ блок HP 34401A;
- 15 – XY – Записвач;
- 16 – Цифров измервателен блок HP 34401A;
- 17 – Цифров термометър за термокамерата;
- 18 – Термокамера с регулиране на температурата;
- 19 – Отверстия за подаване на поток от изпаряващ се течен азот ;
- 20 – Цифров осцилоскоп HP 1980B;
- 21 – Цифров спектрален анализатор на шум Philips PM 3360;

# Подходи за изграждане на триконтактни сензори на Хол

- Промяна на функционалното предназначение на местата (реаранжиране) на контактите върху горната страна на полупроводниковата подложка, запазвайки планарността им.
  
- Използване на долната страна на полупроводниковата подложка като изходен или входен контакт при дискретна реализация на сензора.

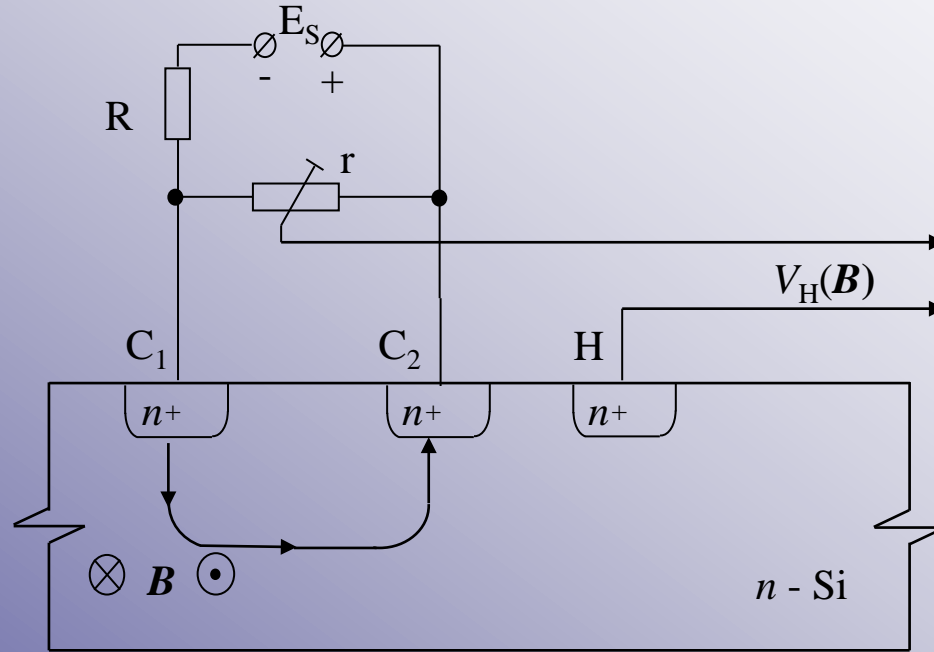


# Напречно сечение на триизводен сензор на Хол с вътрешен изходен контакт



- Чрез схемата силно нелинейното магнитосъпротивление е напълно компенсирано. Показана е криволинейната траектория на хранващия ток  $I_{C1,2}$

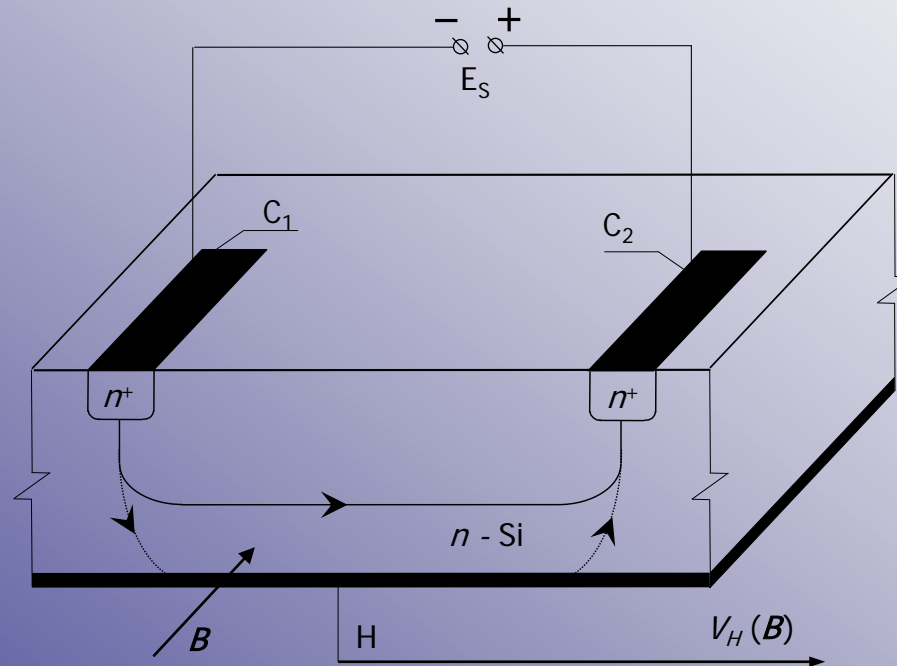
# Триизводен сензор на Хол с външен изходен контакт



Показана е криволинейната траектория на захранващия ток  $I_{C1,2}$ . Схемата за екстракция на Холовото напрежение е същата както на предната фигура

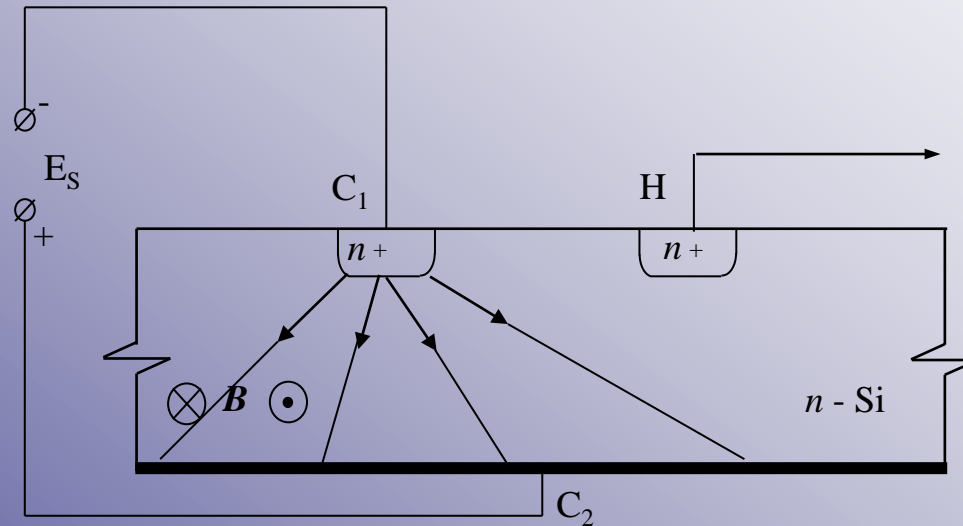
# Триизводни сензори на Хол с контакт върху долната страна на полупроводниковата подложка

*Триизводен сензор на Хол с изходен контакт върху долната страна на полупроводниковата подложка*

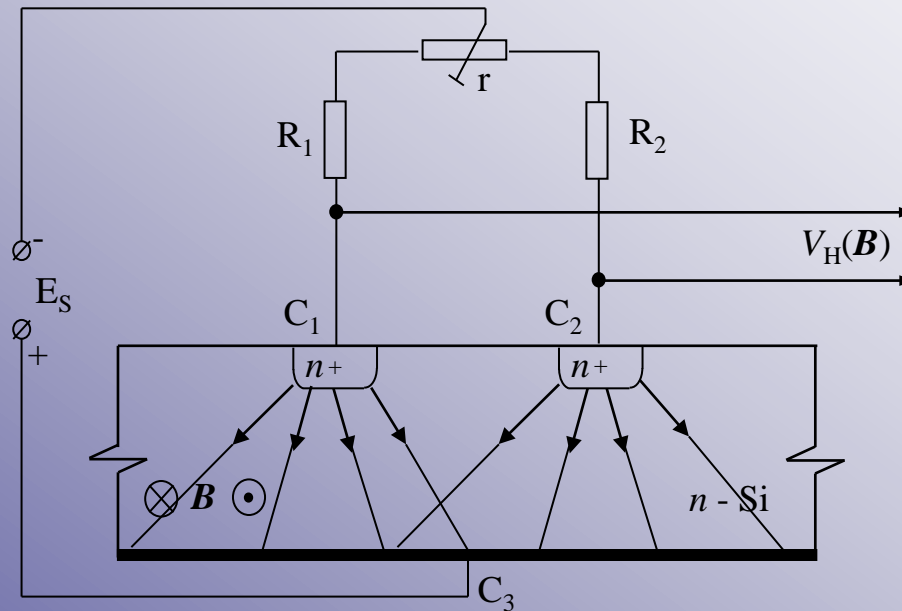


- *Отбелязани са двата вида токови компоненти, определящи магниточувствителността му. Измервателният мост е както на предните фигури и не е показан*

*Триизводен сензор на Хол с по един захранващ контакт върху двете страни на структурата*



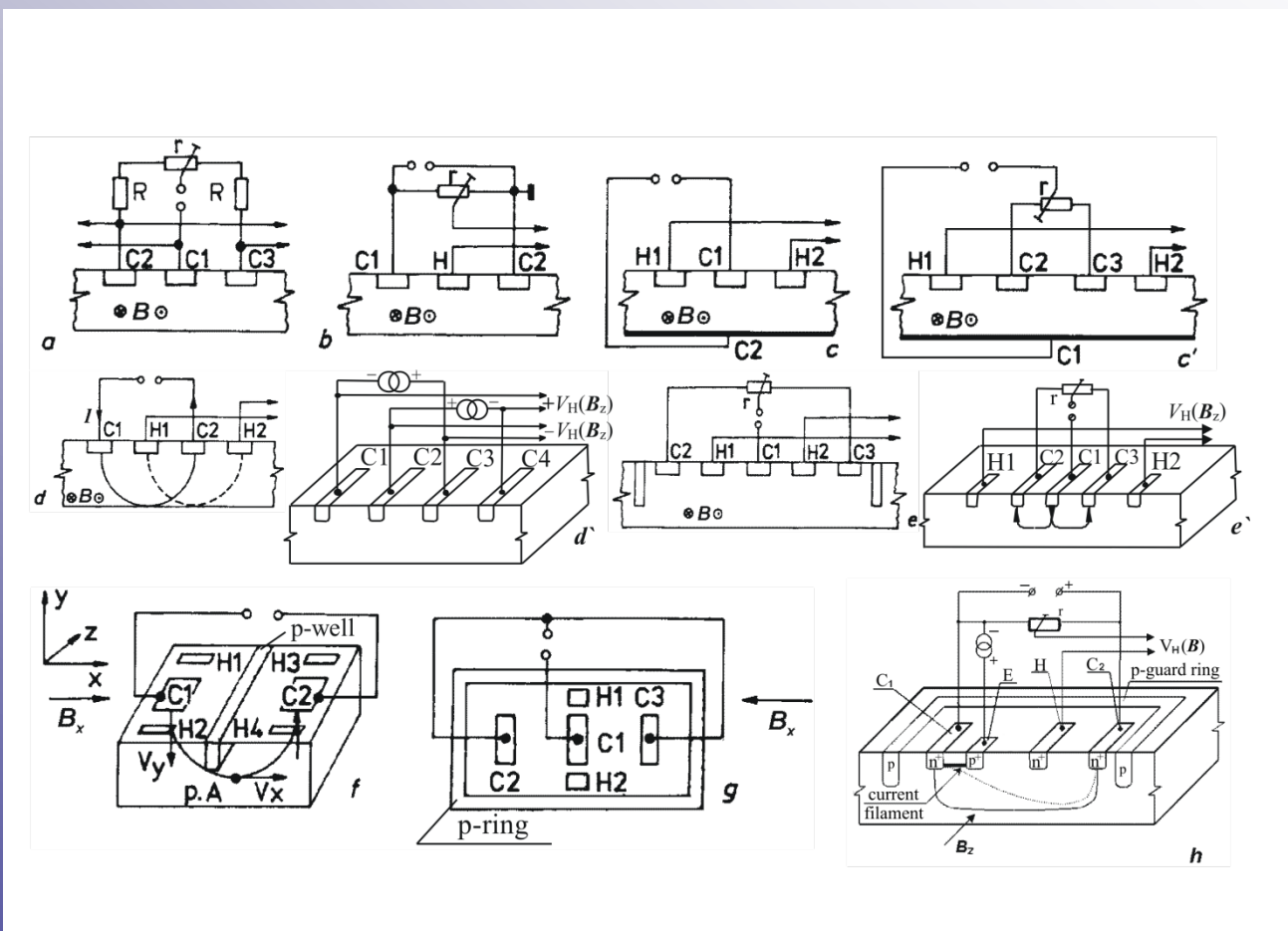
# Триизводен елемент на Хол с диференциален изход и един захранващ контакт върху долната страна на подложката

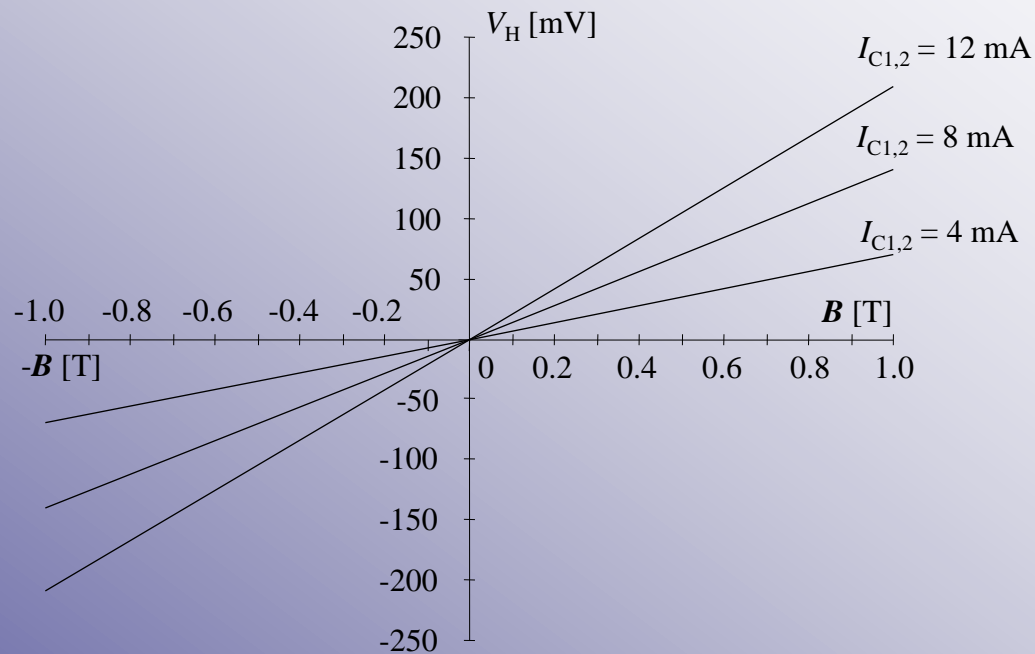


- Схематично са показани нехомогенното разпределение по напречното сечение на токови компоненти  $I_{C1}$  и  $I_{C2}$ . Чрез тримера  $r$  се постига нулиране на офсета, резисторите  $R_1$  и  $R_2$  са равни

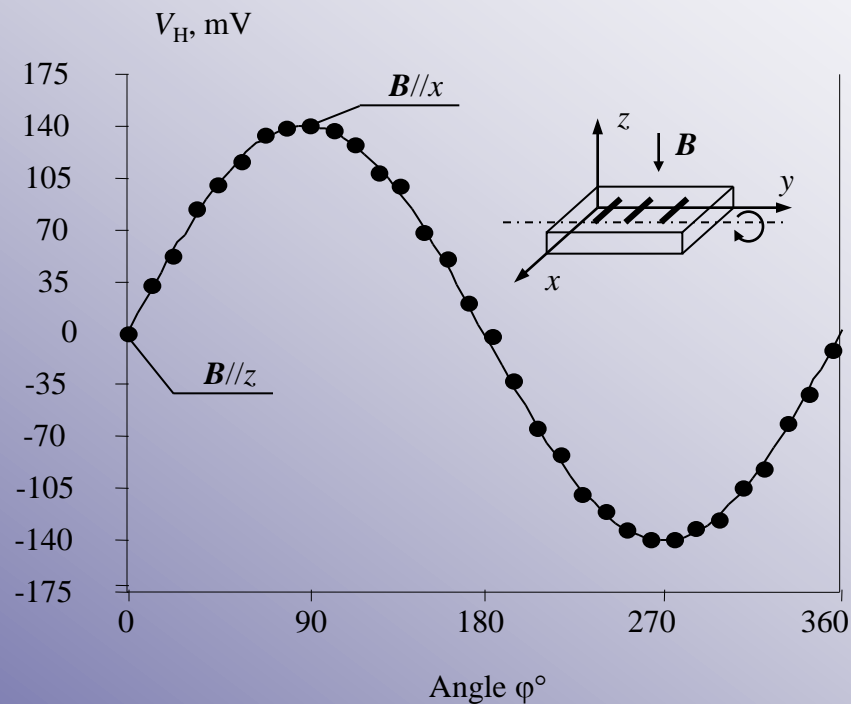


Силициеви микросензори на Хол с паралелна ос на магниточувствителност. Контактите  $C_i$  са захранващи, а с  $H$  са обозначени Холовите терминали





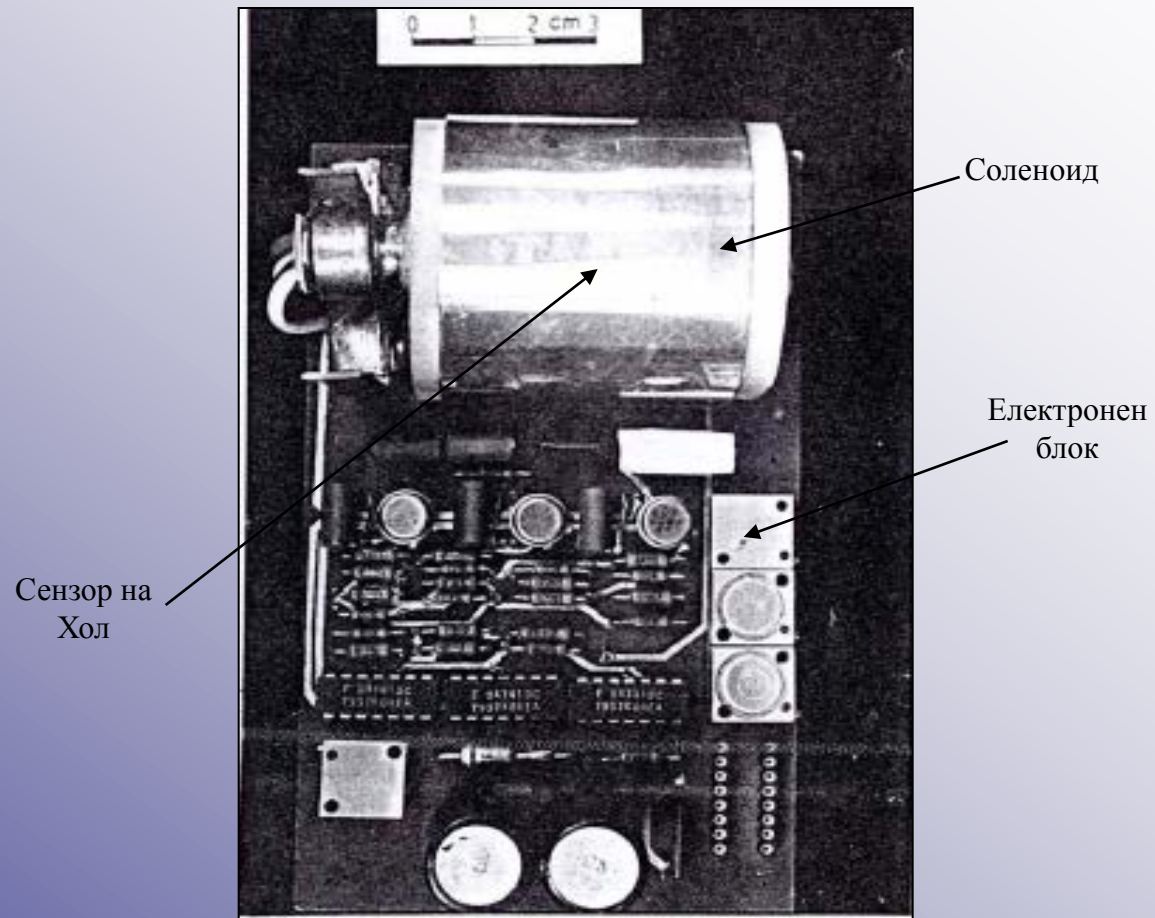
*Изходни характеристики  $V_H$  ( $B$ ) на триизводния сензор на Хол с вътрешен изходен контакт при параметър захранващия ток  $I_{C1,2}$ ,*



*Ъглова зависимост на Холовото напрежение  $V_H(\varphi)$  за триконтактния сензор на Хол с вътрешен изходен контакт при ток  $I_{C1,2} = 8 \text{ mA}$  и магнитна индукция  $B = 1 \text{ T}$  при въртене на образеца около оста  $y$*

# **Безконтактни устройства, използващи триконтактни сензори на Хол с паралелна ос на чувствителност**

- **Безконтактна токова сонда**
- **Устройство за линейни премествания**

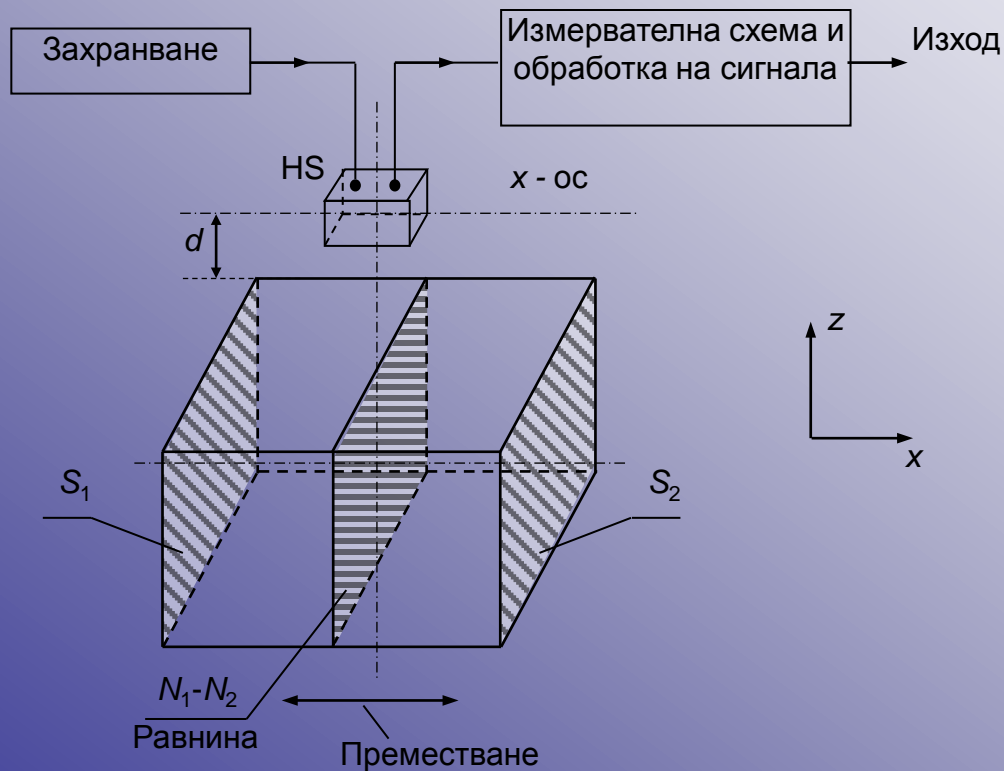


***Безконтактна токова сонда “Амперметър” с обхват 30 А***

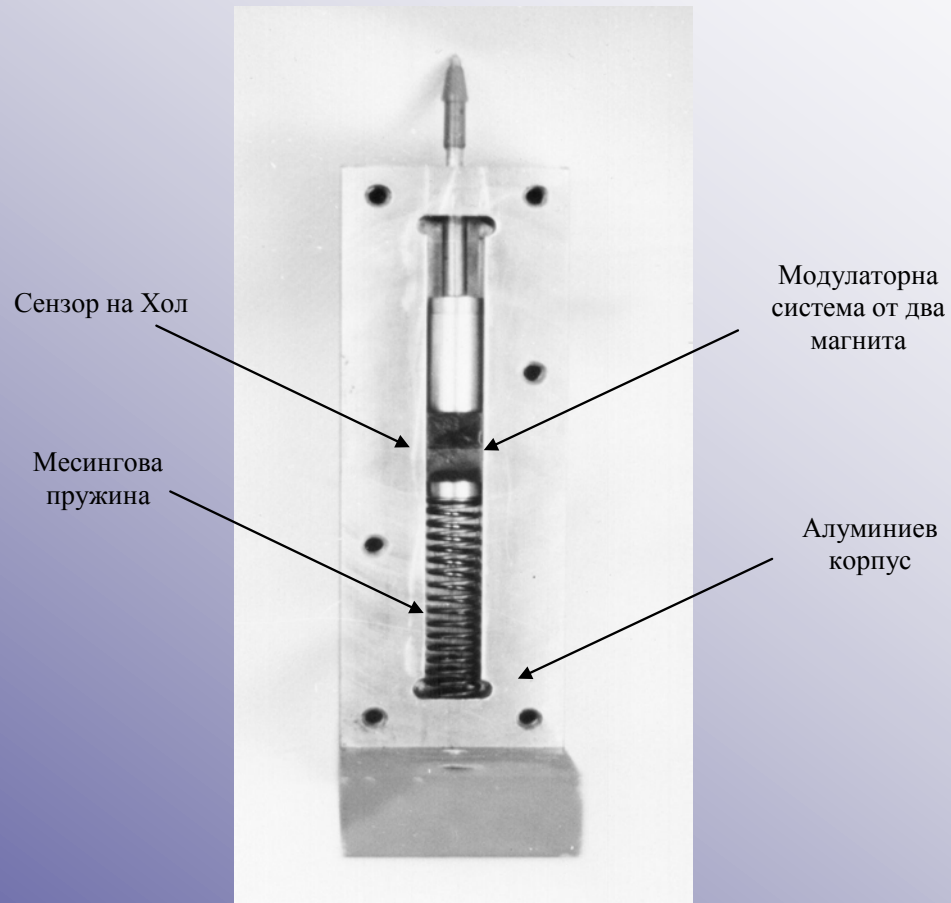
# Основни технически характеристики на реализираните Безконтактни токови сонди

Обхват на измервания постоянен ток	$0 \leq I \leq 30 \text{ A}$ $0 \leq I \leq 200 \text{ A}$
Вид на изходното напрежение	аналогово
Номинална чувствителност на двата типа уреди	100 mV/A (за ток до 30 A) 10 mV/A (за ток до 200 A)
Допустима грешка при измерването	< 2 % от обхватите
Работен температурен интервал	$0 \leq T \leq 50 \text{ }^\circ\text{C}$
Консумирана мощност	< 0.4 VA

# Безконтактно устройство за линейни премествания



Магнитомодулаторна (актюаторна) система, съдържаща два еднакви постоянни магнити от бариев ферит  $\text{BaO}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_6$ , съединени с едноименните (отблъскващите се) полюси  $N_1-N_2$ . Сензорът на Хол HS се премества по отношение на съединителната равнина  $N_1-N_2$  при разстояние  $d = \text{const}$ . В зоната на съединителната равнина  $N_1-N_2$  магнитният поток е удвоен.



**Безконтактно устройство за линейни премествания  
с резолюция 1  $\mu\text{m}$**



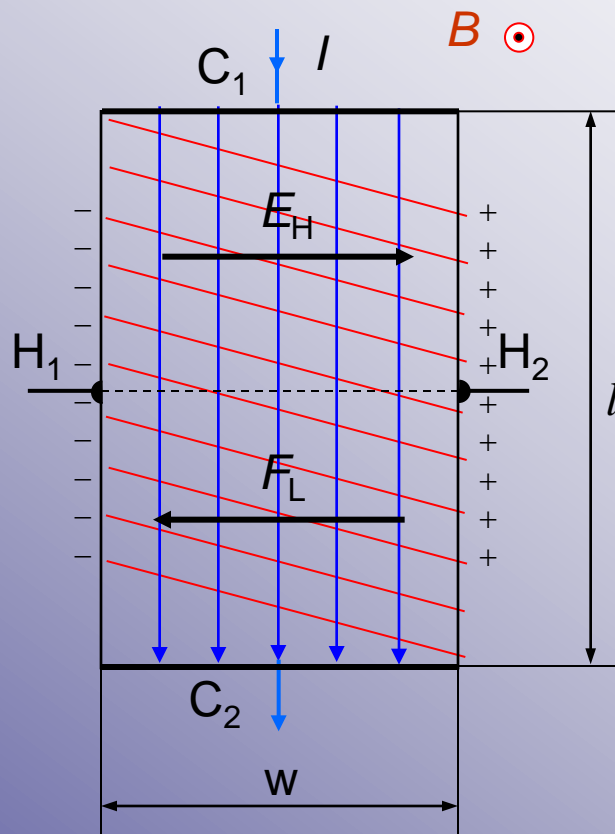
# Основни технически характеристики на Безконтактно устройство за линейни премествания

Обхват на линейно измерване $\Delta l$	2.0 mm
Чувствителност, S	1 mV/ $\mu\text{m}$
Комбинирана грешка на измерването	0.3 % от обхвата
Работен температурен диапазон $\Delta T$	$10 \leq T \leq 40$ °C
Обща консумирана мощност	< 0.4 VA



***“Тихата революция” или един нов  
поглед към сензориката на ефекта на  
Хол в електронните системи***

# Ефектът на Хол – какъвто го познаваме



Класическа структура за наблюдение на ефекта на Хол



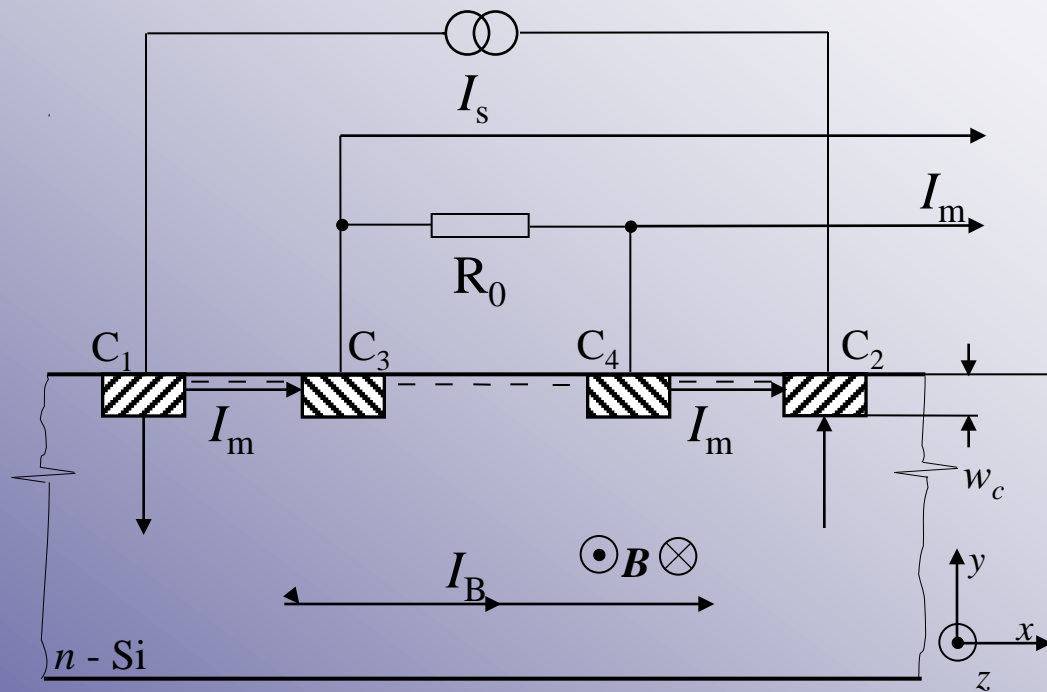
# Защо ревизия на една “възрастна” теория?



Как съществува полето на Хол  $E_H$  (и напрежението на Хол  $V_H$ ), след като то е възстановило изцяло първоначалната (без магнитно поле) хомогенна картина на токовите линии в структурата;

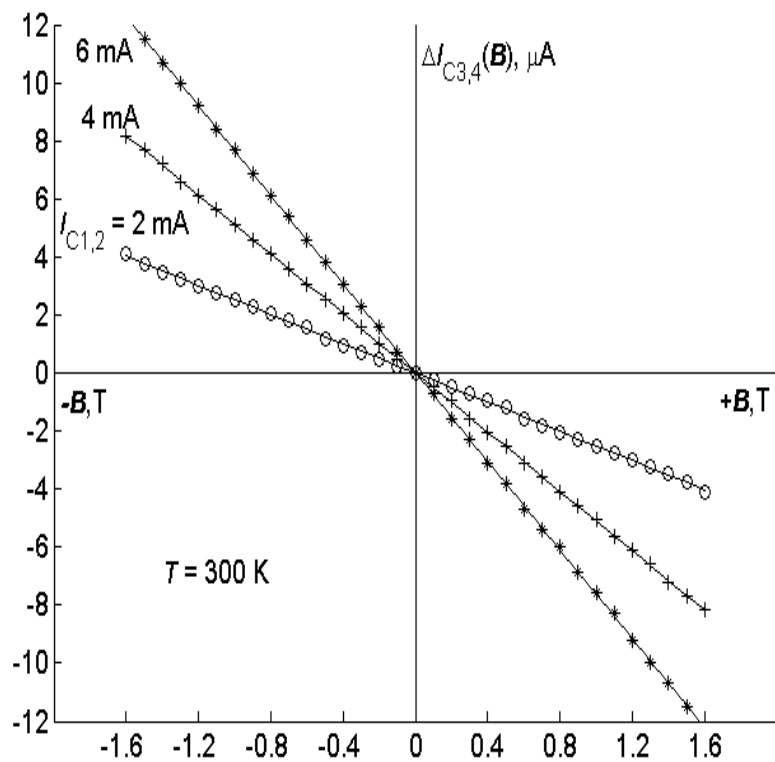
Как тогава в отсъствието на Лоренцово отклонение  $F_L = 0$ , неутрализирано от полето  $E_H$  се генерират непрекъснато върху двете страни на пластината отрицателни и положителни товари, поддържащи полето  $E_H$ ; и

Как товарите, определящи полето на Хол  $E_H$  са статично локализирани върху латералните страни на пластината като в кондензатор при наличие на ускоряващо носителите електрическо поле  $E_s$ .

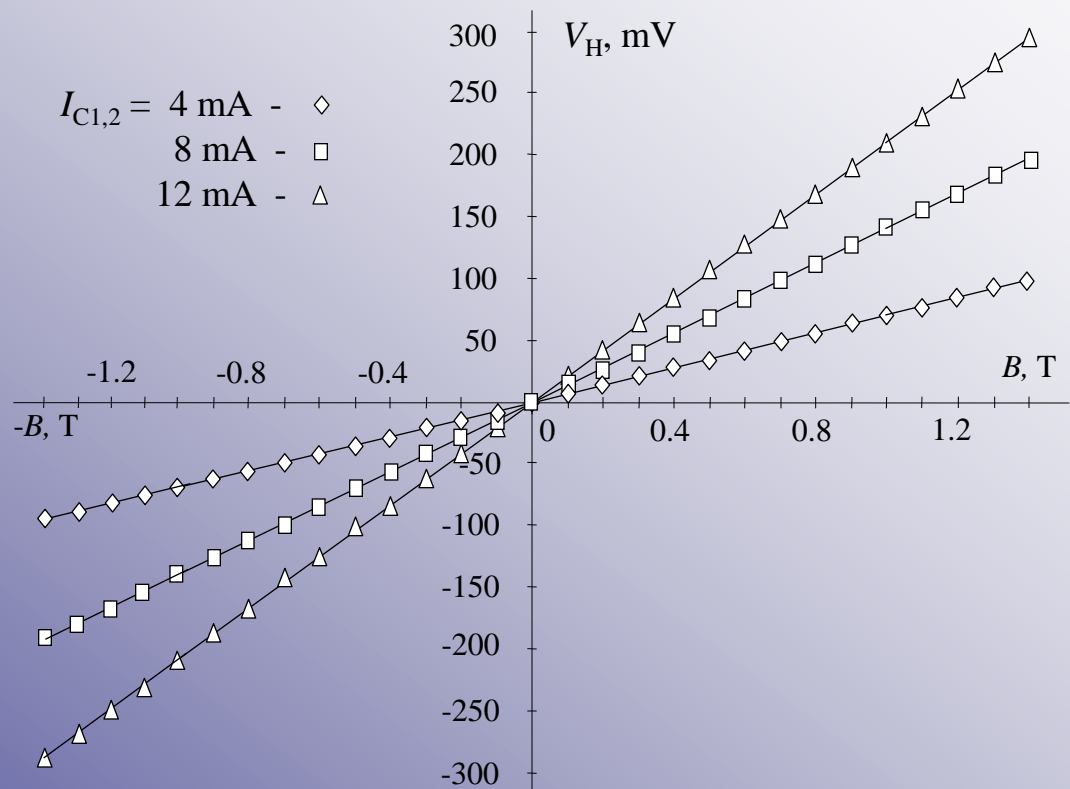


**Напречно сечение на сензора на Хол и измервателната схема за изследване на повърхностния магнитноуправляем ток  $I_m$**

# “Тихата революция” или нов поглед към сензориката на ефекта на Хол

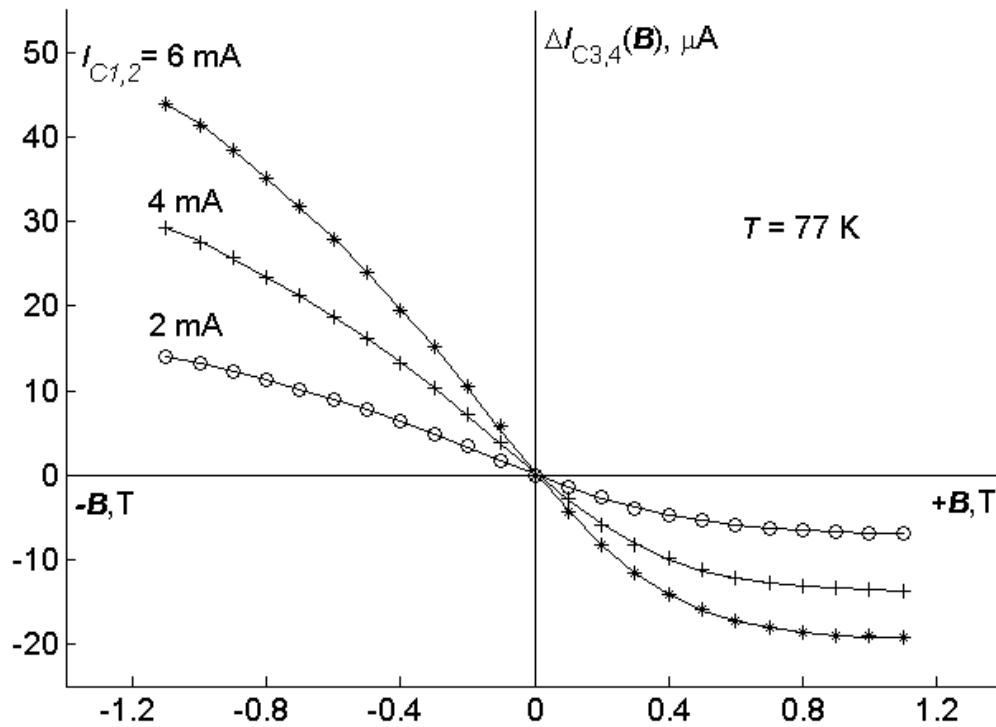


Експериментални зависимости за магнитното управление на повърхностния ток при стайна температура



Поведение на напрежението на Хол  $V_H$ , измерено върху контакт  $C_3$ , при  
 параметър захранващият ток  $I_{C1,2}$ ,  $T = 300 \text{ K}$





Поведение на повърхностния магнитномодулиран ток  $I_m$  при температурата на кипене на течния азот,  $T = 77 \text{ K}$

# ОТКРИТИЕТО

- **Наименование:**

**„Магнитноуправляем повърхностен ток в проводящите материали”**

- **Научна област:** Сензорна електроника
- **Автори:** акад. Ч. Руменин, проф. д-р С. Лозанова, доц. д-р С. Нойков
- **Интелектуална собственост:** Институт по системно инженерство и роботика при БАН
- **Формула на откритието:**

*Установено е експериментално неизвестно по-рано явление в сензорната електроника, заключаващо се във възникване в проводящите материали в широк температурен интервал на магнитноуправляем повърхностен ток при взаимно перпендикулярни хранващ ток и магнитно поле като посоката на повърхностния ток се обръща ако се промени полярността на магнитното поле или на хранващия ток*

- **Информация за явлението в:**

**Science**

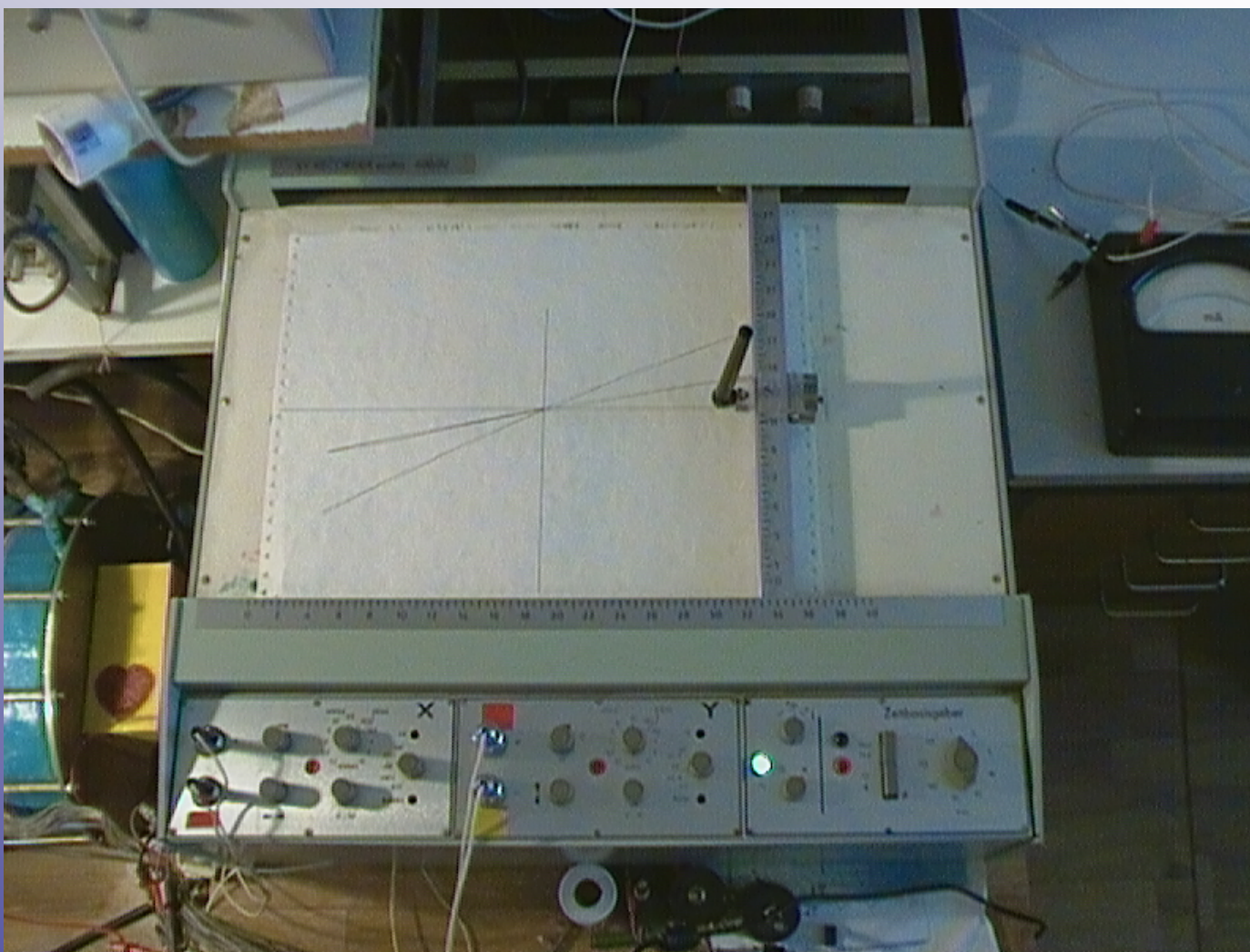
<http://www.sciencenews.com/physics/2010111800000119.html>;

**Sensors and Actuators J.**, 2012;

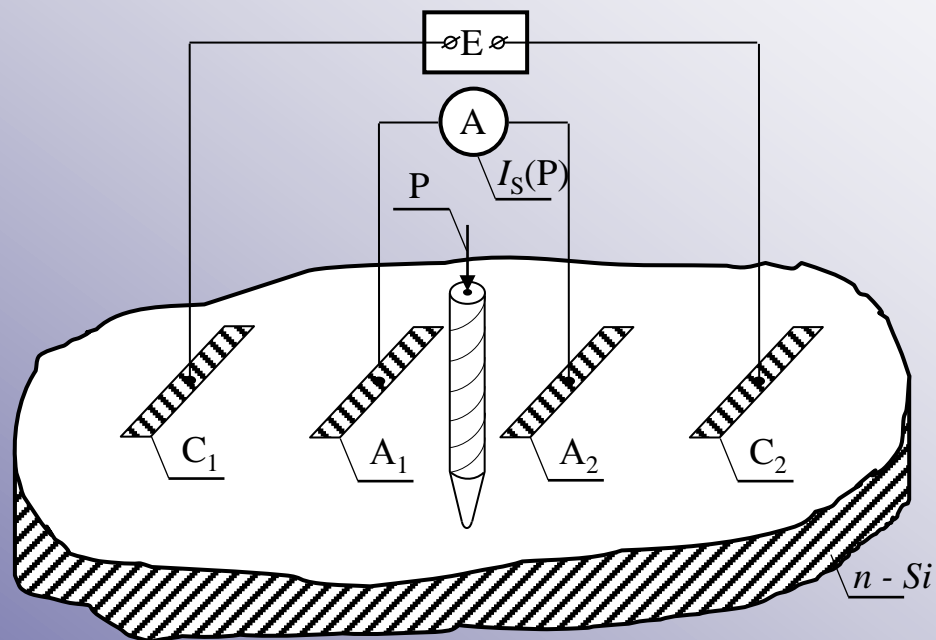
**Scientific Computing**

<http://www.scientificcomputing.com/news>

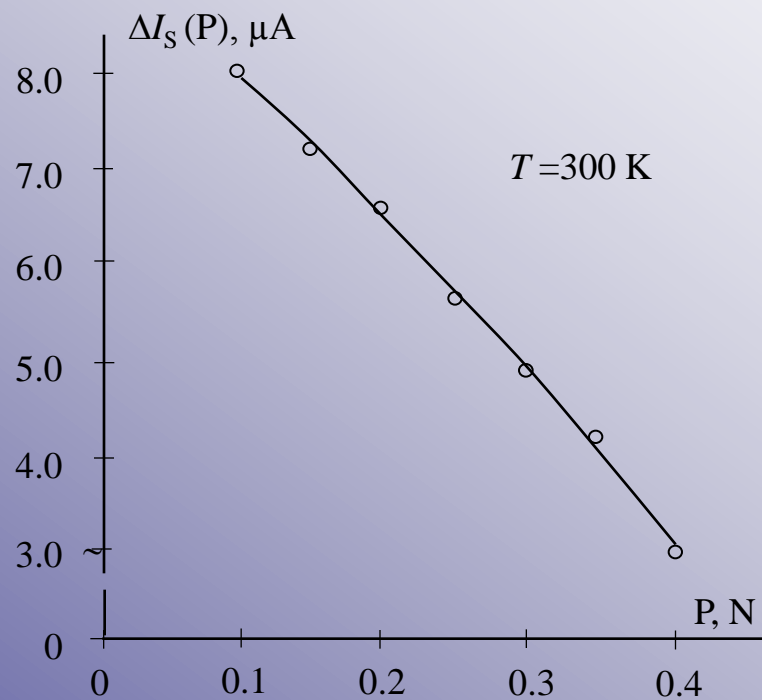




**Експериментално доказателство за съществуването на магнитноуправляемия повърхностен ток в полупроводникови (силициеви) структури**



Сензор за налягане, използващ като агент повърхностния ток. Чрез иглата предаваме усилията върху силициевата пластина, а информацияният сигнал се снима от вътрешните игли-контакти



*Изходна характеристика на новия сензор за сила при ток 8 mA –  
изменение на тока от приложеното налягане*

## Заклучение:

- Новият сензорен механизъм е изключително чувствителен към въздействия върху повърхността на материала
- Могат да се създадат различни видове сензори – тактилни, химически, светлинни, магнитни и др., т.е. за всяко въздействие, променящо свойствата на повърхността
- Новият механизъм е метод за изследване свойствата на повърхността, което има фундаментално значение за нано- и микро-електрониката

***Благодаря за вниманието***



# ЗАДАНИЕ

1. Да се опише съвсем накратко същността на ефекта на Хол  
(до половин страница)
2. Да се избере по едно практическо приложение по Ваше усмотрение на сензорите на Хол. Да се опише по-подробно действието на това устройство (до 1 страница)