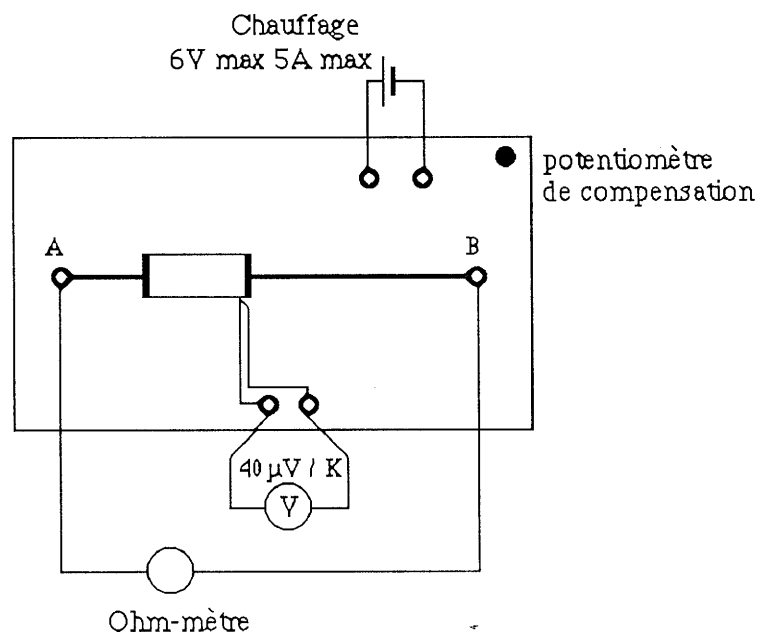


## Notice 598

### Echantillon de Germanium intrinsèque

On dispose d'un échantillon de Germanium, de dimensions  $L = 20 \text{ mm}$ ,  $a = 10 \text{ mm}$ ,  $b = 1 \text{ mm}$ .



Une résistance chauffante est accolée à l'échantillon. Elle doit être alimentée sous 6 V et 5 A maximum. On utilisera de préférence une alimentation variable : il est conseillé de procéder à un chauffage lent de l'échantillon en appliquant au départ une tension de 2 V puis de 4 V et enfin de 6 V.

La température est donnée par un thermocouple de type K, dont une soudure est collée à l'échantillon, l'autre étant à la température ambiante. Sa sensibilité est de  $40 \mu\text{V} / \text{K}$ . Utiliser pour la lecture de la f.e.m. du thermocouple un voltmètre de sensibilité appropriée (affichant 0,01 mV).

**Attention de ne pas dépasser 425 K (soit  $150^\circ\text{C}$ ) soit une f.e.m. de 5 mV pour le thermocouple !**

A l'aide d'un ohm-mètre, mesurer la variation de la résistance  $R$  avec la température  $T$ . Déduire du diagramme  $R = f(1/T)$  la largeur de la bande interdite du germanium.

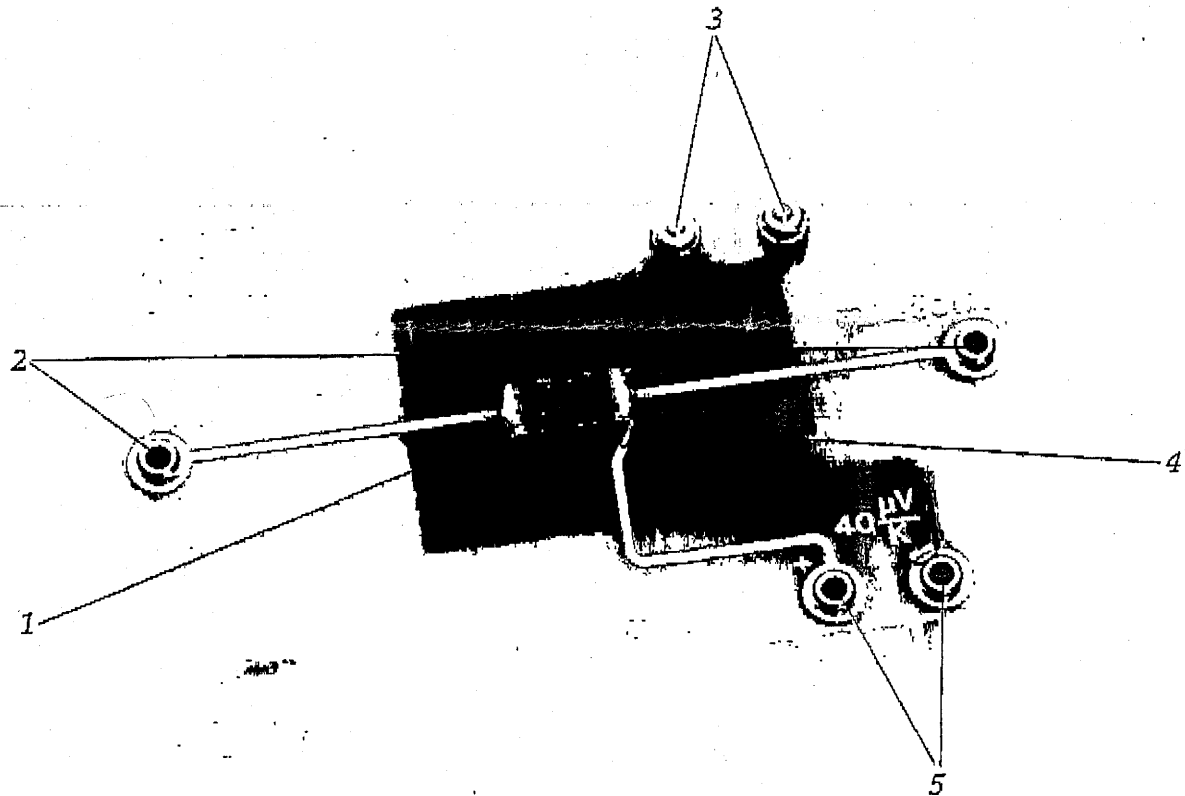


Fig. 1

### Contents

1. Purpose
2. Description
3. Operation
4. Technical data
5. Experiment literature
6. Equipment list

#### 1. PURPOSE

The supporting plate 11807.00 is used to demonstrate the temperature dependence of the electrical conductivity of a pure (i.e. undoped) semiconductor. Unlike a metallic conductor or a heavily doped

semiconductor, in which extrinsic conduction predominates, an undoped semiconductor exhibits a sharp rise in conductivity with rising temperature due to the increasing concentration of thermally produced electrons and holes (intrinsic conduction).

#### 2. DESCRIPTION

Fig. 1 shows the supporting plate with the individual functional units:

Semiconductor crystal 1 is an undoped germanium crystal with the dimensions 20 x 10 x 1 mm.

A suitable DC voltage is applied to sockets 2 through a series resistance which limits the current to a maximum of 30 mA (see Operation). These sockets are also used when measuring the voltage drop through the crystal.

The two plugs 3 on the back of the plate not only give mechanical support to the plate, e.g. in the multisocket distributor 06024.00, but also act as leads for the heating current (heating time limited, see Operation).

The copper-constantan thermocouple 4 provides a thermoelectric voltage of approx. 40  $\mu\text{V/K}$  which can be taken off through the two sockets 5.

### 3. OPERATION

#### Caution:

Germanium crystals are very brittle and consequently fragile. To prevent any bending of the supporting plate during assembly, the following points should be observed:

To affix the plate to the multisocket distributor 06024.00, the two plugs 3 are pushed into the distributor sockets by pressing on the front side of the plate between the nuts securing these plugs. To remove the plate, the back of the plate near the plugs is pressed with two fingers and pulled away from the distributor.

When wiring up the individual sockets, these are each given support by pressing against the back of the plate with the hand.

It is further recommended that the original packing should be used when storing the supporting plate.

In the experiment set-up, the multisocket distributor is mounted on a suitable stand. The two plugs 3 can also be used to take the heating current of 5 A at 6 V DC or AC via the distributor; however, the voltage source should not be switched on until just before the measurement is made.

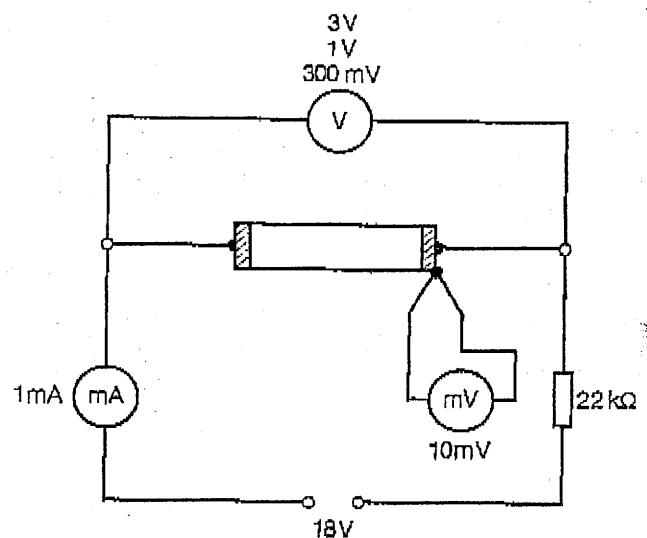
#### Caution:

To prevent overheating, the heating current is switched off as soon as the thermoelectric voltage (sockets 5) reaches a value of 5 mV.

An appropriate DC voltage (maximum 42 V) is applied to sockets 2 via a protective resistor which prevents the control current from rising above 30 mA even when, at high temperatures, the resistance of the crystal is very low. To determine the electrical resistance of the crystal, the voltage drop in the crystal is measured across these sockets. In addition, the current flowing through the crystal is measured with a second meter.

To measure the thermoelectric voltage, a DC voltmeter (range multiplier 10 mV, or if need be 30 mV) is applied across sockets 5.

Fig. 2



The voltage drop in the crystal can be recorded as a function of the thermoelectric voltage by using an xy recorder in place of the two voltmeters.

Fig. 2 shows the principle of the measuring circuit used. The resistance was designed for a working voltage of approx. 18 V in order to get a current of just 1 mA. The current obtained is largely unaffected by the temperature because of the relatively large series resistance.

#### 4. TECHNICAL DATA

##### Crystal:

Dimensions 20 x 10 x 1 mm  
Material germanium, undoped  
Resistivity  $> 15 \Omega \cdot \text{cm}$   
Max. permissible current 30 mA

##### Other data:

Maximum temperature  $175^{\circ}\text{C}$

Thermocouple Cu-CuNi

Thermoelectric voltage coefficient approx.  $40 \mu\text{V/K}$

Heating current 5 A at 6 V AC or DC

#### 5. EXPERIMENT LITERATURE

PHYWE Experimental Units in Physics,  
Solid-state physics (in preparation)

#### 6. EQUIPMENT LIST

The following list gives the most important equipment used in connection with the supporting plate "Intrinsic conduction of germanium" 11807.00.

Order No.	Description
-----------	-------------

For power supply:

11704.93	Power supply, universal
or	
11706.93	Power supply, stabilized (heating current 5 A at 6 V AC or DC then required as an addition)

For measurement of both voltages:

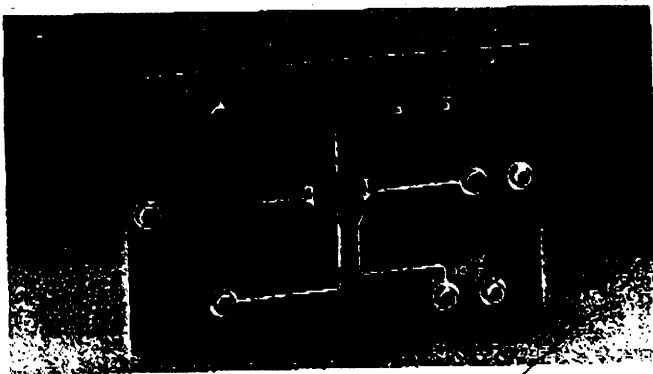
11408.97	myt Recorder
or	
suitable voltmeters (3 V DC, 1 V DC, 300 mV DC and 10 mV DC) and, specially for measuring thermoelectric voltages:	

11100.00	Moving-coil instrument with
11110.01*	Range multiplier, amplifier 30 $\mu\text{V}$ to 10 mV
or	
11761.93	Measuring amplifier (with suitable display instrument)

For holding the supporting plate:

06024.00	Multisocket distributor
----------	-------------------------

\* Four 9 V batteries 07496.10 are required for this range multiplier



#### Effet Hall, germanium n, platine

11802.00

Permet d'étudier la dépendance thermique du phénomène de conductibilité électrique de la tension de Hall dans un semi-conducteur dopé de type n; à partir des résultats, il est possible, entre autres, de déterminer l'écart de bande du germanium, le signe de polarité du porteur de charge à l'origine de la conduction extrinsèque (électrons), ainsi que la concentration des électrons responsables et leur mobilité.

Platine renforcée à deux couches avec dispositif de chauffage électrique intégré et thermocouple; un régulateur de courant constant intégré assure la régulation du courant, indépendamment de la résistance du semi-conducteur qui varie de manière significative en fonction de la température. Douilles de 4 mm pour prélèvement de la tension de Hall et de la diminution de la tension le long du cristal; support de la platine à l'aide de la paire de connecteurs du raccord chauffant sur distributeur 06024.00. Livrée avec protocole de contrôle.

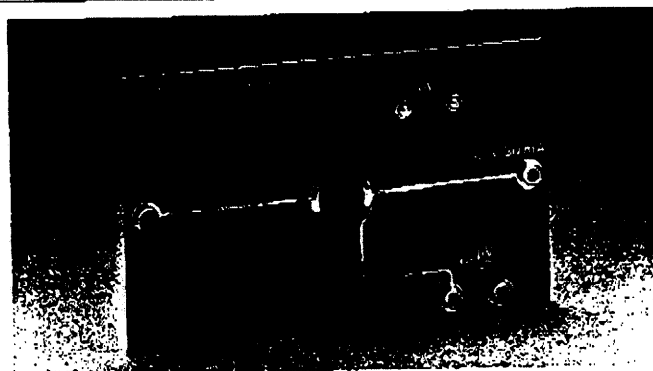


#### Effet Hall, germanium p, platine

11805.00

Permet d'étudier la dépendance thermique du phénomène de conductibilité électrique de la tension de Hall dans un semi-conducteur dopé de type p; à partir des résultats, il est possible, entre autres, de déterminer l'écart de bande du germanium, le signe de polarité du porteur de charge à l'origine de la conduction extrinsèque (trous), ainsi que la concentration des électrons responsables et leur mobilité; une changement de polarité de la tension Hall à 120°C démontre, de manière très visible, que les trous sont moins mobiles que les électrons.

Platine renforcée à deux couches avec dispositif de chauffage électrique intégré et thermocouple; un régulateur de courant constant intégré assure la régulation du courant, indépendamment de la résistance du semi-conducteur qui varie de manière significative en fonction de la température. Douilles de 4 mm pour prélèvement de la tension de Hall et de la diminution de la tension le long du cristal; support de la platine à l'aide de la paire de connecteurs du raccord chauffant sur distributeur 06024.00. Livrée avec protocole de contrôle.



#### Conduction intrinsèque du Germanium, platine

11807.00

Permet d'étudier le rapport entre la température et la conductibilité thermique dans des semi-conducteurs non dopés; à partir des résultats, possibilité de définir l'espacement des bandes de germanium.

Platine renforcée à deux couches, avec dispositif électrique de chauffage intégré et thermocouple; cristal branché via douilles de 4 mm et une résistance de protection à la source de tension continue. Possibilité d'enficher la platine à l'aide de la paire de connecteurs du raccord du chauffage sur un distributeur 06024.00.

#### Caractéristiques techniques des platines:

Platine	Effet Hall, n-germanium 11802.00	Effet Hall p-germanium 11805.00	Conduction propre du germanium 11807.00
N° de cde	n-germanium	p-germanium	germanium non dopé
Echantillon	1 mm	1 mm	1 mm
Epaisseur de l'échantillon	20 mm x 10 mm	20 mm x 10 mm	20 mm x 10 mm
Format de la surface de l'échantillon	30 mA	30 mA	30 mA
Puissance maxi dans l'échantillon	30 mA, réglable	30 mA, réglable	-
Régulation de courant	12...30 V	12...30 V	-
Tension du régulateur	Avec potentiomètre à broche	Avec potentiomètre à broche	-
Compensation de tension de fuite	175°C	175°C	175°C
Température maxi.	Cu-CuNi	Cu-CuNi	Cu-CuNi
Thermocouple	40 µV/K	40 µV/K	40 µV/K
Coefficient de tension thermoélectrique	6 V/5 A	6 V/5 A	6 V/5 A
Tension/courant de chauffage	160 mm x 100 mm	160 mm x 100 mm	160 mm x 100 mm
Dimension de platine			

## Termes analogues

Semi-conducteur, théorie des bandes d'énergie, zone d'exclusion, conduction intrinsèque, conduction extrinsèque, épuisement des impuretés, bande de valence, bande de conduction.

## Principe

La conductibilité d'une éprouvette de Germanium est mesurée en fonction de la température. On détermine, à partir des valeurs mesurées, l'intervalle d'énergie entre deux bandes.

## Matériels

TREPIED -PASS-	C2C02.55	1
TIGE CARREL -PASS-, L 250MM	C2025.55	1
NOIX DOUBLE -PASS-	U2040.55	1
DISTRIBUTEUR	C6024.00	1
BOITE DE CONNEXION	O6G30.23	1
CONDUCTION INTRINS. DU GE, PL. PO.	11807.CC	1
RESISTANCE A COUCHE, 180 OHMS	39104.11	1
VOLTMETRE 0,3-300V CC, 10-300 V CA	O7035.00	1

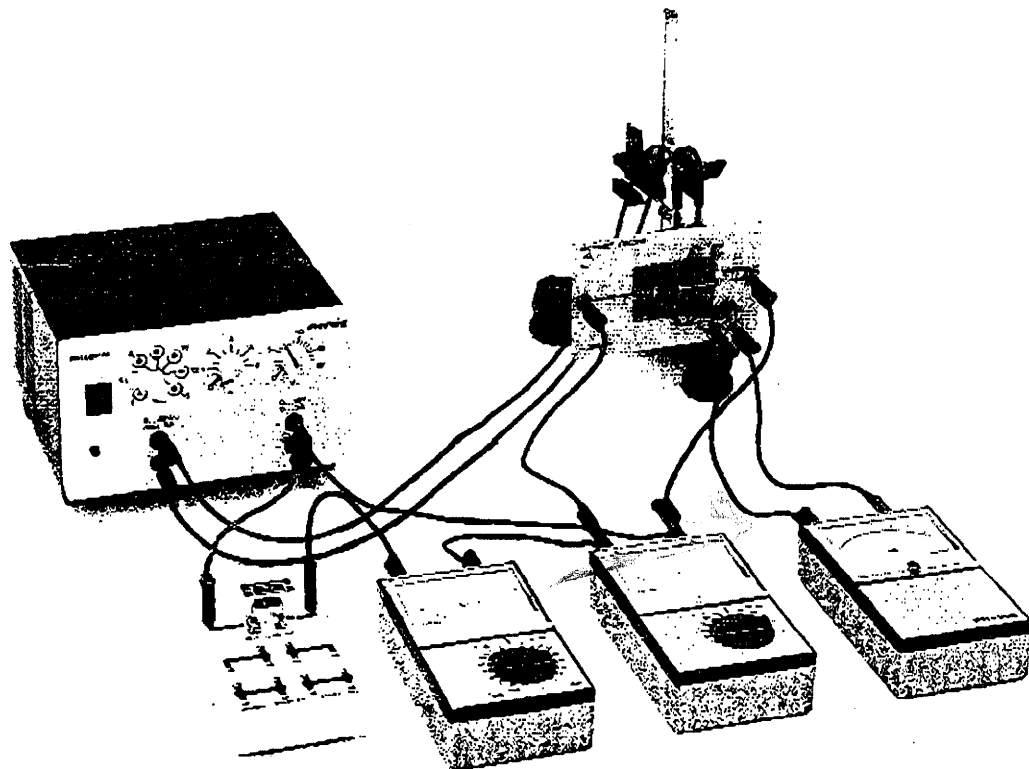
AMPEREMETRE 1 MA-3 A CC/CA	O7036.00	1
INSTRUM. DE MESURE, 10/30MV, 200 C	O7019.00	1
ALIMENTATION, UNIVERSELLE	11704.93	1
FIL DE CONNEX., 500 MM, ROUGE	O7361.01	4
FIL DE CONNEX., 500 MM, JAUNE	O7361.02	2
FIL DE CONNEX., 500 MM, BLEU	O7361.04	4

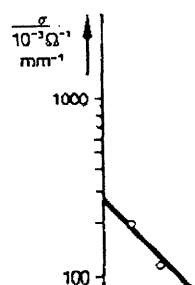
Les appareils repérés par \* sont conçus pour un raccordement au secteur 220 V, 50 Hz. Ils peuvent aussi être livrés pour 110 V, 50 Hz (60 Hz).

## Problème

L'intensité et la tension sur une éprouvette de Germanium sont mesurées en fonction de la température. A partir des dimensions de l'éprouvette, on calcule la conductibilité  $\sigma$ , celle-ci est portée sur un graphique en fonction de la valeur réciproque de la température. On obtient une droite dont la pente permet la détermination de l'intervalle d'énergie entre deux bandes du Germanium.

Fig. 1: Montage expérimental pour la détermination de l'intervalle d'énergie entre deux bandes





### 5.3.4 Largeur de zone interdite entre-bande du Germanium

0146571099

09-06-98 15:48

[27] #4/5

#### Montage et mode opératoire

Le montage est effectué suivant la fig. 1. L'éprouvette est raccordée, avec une résistance série et un ampèremètre, à la sortie de tension continue de l'alimentation universelle. L'intensité du courant ne devra pas dépasser 30 mA. On mesure la tension à l'éprouvette avec un voltmètre.

L'arrière de la platine est équipé d'un filament chauffant qui est alimenté à partir de la sortie de tension alternative de l'alimentation universelle. Il est conseillé de procéder à un chauffage lent de l'éprouvette en appliquant au départ une tension de 2 V, puis de 4 V et enfin 6 V.

La température maximum admissible de 175°C ne doit pas être dépassée! On peut aussi procéder à la mesure pendant la phase de refroidissement c'est-à-dire qu'on chauffe préalablement l'éprouvette à la température maximum, puis on la laisse refroidir.

La température de l'éprouvette est mesurée à l'aide d'un couple thermo-électrique Cu/CuNi et d'un millivoltmètre.

#### Théorie et exploitation

La conductibilité des semi-conducteurs est une fonction caractéristique de la température. On distingue trois zones (fig. 2): aux basses températures se trouve la conduction extrinsèque (zone I), c'est-à-dire que lors d'une croissance de la température, les porteurs de charge sont activés à partir des impuretés.

Aux températures moyennes (zone II), on parle d'épuisement d'impuretés, une poursuite de l'élévation de température ne contribuant plus à une activation d'autres impuretés.

Finalement, aux hautes températures (zone III), c'est la conduction intrinsèque qui domine. Alors, par excitation thermique, on assiste à une amenée supplémentaire de porteurs de charge de la bande de valence vers la bande de conduction. Ici, la dépendance de la température est principalement déterminée par une fonction exponentielle:

$$\sigma = \sigma_0 \cdot \exp - \frac{E_g}{2kT}$$

( $E_g$  = énergie de l'intervalle de bande,  $k$  = constante de Boltzmann,  $T$  = température absolue).

Le logarithme de cette équation

$$\ln \sigma = \ln \sigma_0 - \frac{E_g}{2kT}$$

est avec  $y = \ln \sigma$  et  $x = \frac{1}{T}$  une équation d'une

droite du type  $y = a + bx$ , où  $b = -\frac{E_g}{2k}$  est la pente de cette droite.

A partir des valeurs de mesure de la figure 3, la régression avec l'expression

$$\ln \sigma = \ln \sigma_0 + \frac{E_g}{2k} \cdot \frac{1}{T}$$

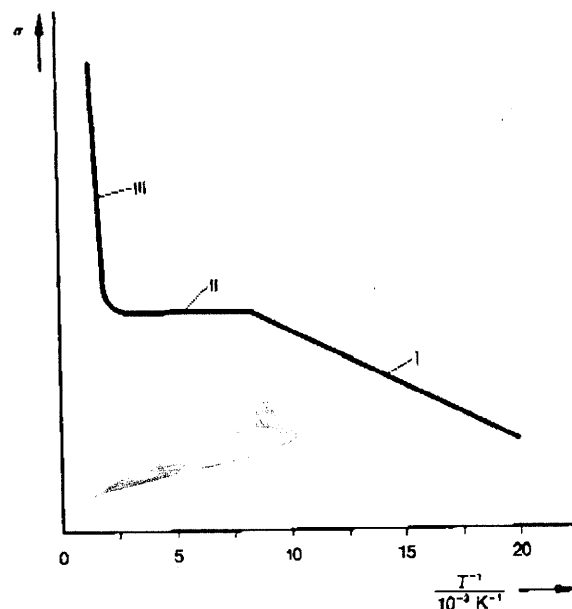


Fig. 2: Représentation schématique de l'allure de la conductibilité d'un semi-conducteur en fonction de la valeur réciproque de la température

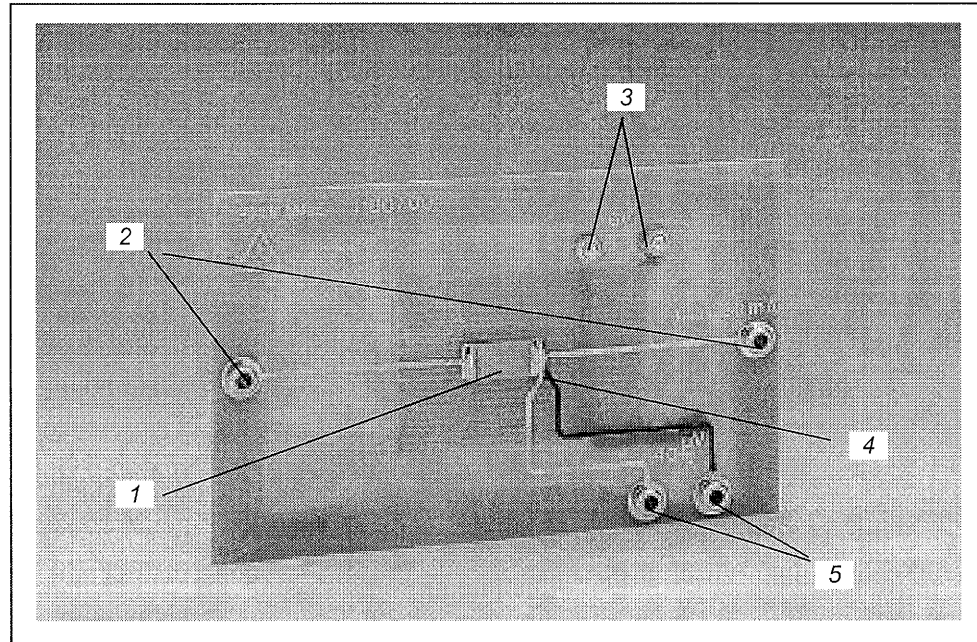
fournit la pente  $b = 3,76 \cdot 10^3 \text{ K}$  avec l'écart-type de

$$s_b = \pm 0,08 \cdot 10^3 \text{ K.}$$

Avec la constante de Boltzmann  $k = 8,625 \cdot 10^{-5} \text{ eV}$ , on obtient finalement

$$E_g = b \cdot 2k = (0,65 \pm 0,01) \text{ eV.}$$

## Operating instructions



### 1 PURPOSE AND CHARACTERISTICS

The carrier plate allows to demonstrate the temperature dependence of the electric conductivity of a pure, that is, non doped, semiconductor. Contrarily to a metallic conductor, or to a strongly doped semiconductor, in which extrinsic conduction is dominant, in the case of a non doped semiconductor, a strong increase of conductivity is observed as temperature increases, due to an increasing concentration of thermal electrons and holes (intrinsic conductivity).

### 2 DESCRIPTION AND HANDLING

#### 2.1 Functional and control elements

A continuous current source is connected to the semiconductor crystal 1 over the sockets 2, whose current intensity must be limited by a protective resistor inserted before the crystal. The sockets 2 are also used to connect a voltmeter, to determine the drop of voltage across the crystal. The copper-constantan thermocouple 4 provides a thermoelectric voltage which can be tapped at the pair of sockets 5.

Together with the corresponding PHYWE distributor (cf. list of accessories), the pair of plugs 3 at the back side of the plate is used both for mechanical support of the carrier plate and to supply heating current.

#### 2.2 General set-up

Attention! Germanium crystals are very brittle and thus can easily break. The following recommendations should be followed in order to avoid bending of the carrier plate and thus mechanical stress to the crystal:

- when plugging the carrier plate into the corresponding distributor, the pair of plugs 4 is pushed into the distributor sockets, pressing onto the front side of the plate, between the fastening nuts. To remove the plate, a finger is inserted behind the plate near the plug and the latter is carefully pulled off the distributor.
- When connecting the single sockets, they are supported with the hand at the back of the plate.

A continuous voltage suited to the protective resistor is applied to the sockets 2 over a protective resistor, which is required to avoid an increase of the current intensity above 30 mA (especially if the crystal resistance drops to very low values at high temperatures). To heat the crystal, a maximum heating voltage of 5 V / 5 A is applied to the two sockets 5 or over the distributor. The heating voltage must be switched on only immediately before performing the measurement.

Temperature control is carried out using the integrated thermocouple and connecting a sensitive voltmeter (measuring range 10-30 mV).

**Attention!** As soon as the thermoelectric voltage has reached 5 V (heating time about 2 minutes), the heating current must be switched off, to avoid overheating of the carrier plate. A possible brown discoloration of the carrier plate, which may occur after heating to the maximum admissible temperature limit, has no effect on the function of the unit.

#### 2.3 Hints for the performance of the experiment

The distributor must be held with adequate support material for the experimental set-up.

As an alternative, an xy plotter may be used to record the drop of voltage over the crystal as a function of the thermoelectric voltage.

The principle of the used measurement circuit is represented in fig. 2. The 22 k $\Omega$  protective resistor is designed to stand an operating voltage of about 18 V, the used sample current being kept just below 1 mA on purpose. The relatively large protective resistor allows to keep the current intensity practically independent of temperature.



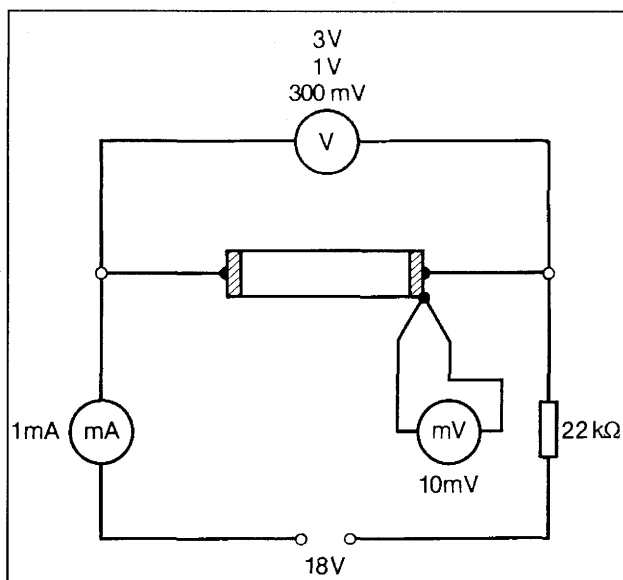


Fig. 2

### 3 TECHNICAL SPECIFICATIONS

Crystal material	germanium, non doped
Crystal dimensions	(20 x 10 x 1) mm
Specific resistivity	> 15 $\Omega$ cm
Maximum current	30 mA
Thermocouple	Cu-CuNi
Thermoelectric voltage coefficient	approx. 40 mV/K
Heating voltage	6 V $\equiv$ / approx. 5 A

### 4 LITERATURE REFERENCES

University Laboratory Course in Physics 1-3 16502.02

### 5 LIST OF ACCESSORIES

Distributor 06024.00

Universal power supply 13500.93

or

Controlled power supply 0-12 V/2 A 13505.93

Furthermore, an ammeter and a voltmeter are required.