

ODBOR MATERIÁLY A TECHNOLOGIE

AUTORIZOVANÝ SOFTWARE

Project DETYS
SOFTWARE PRO STANOVENÍ TYPU VODIVOSTI
POLOVODIČŮ

Autor: *Ing. Lucie Prušáková*
Ing. Erik Vavrinský, Ph.D.

Číslo projektu: *1M06031*
CZ.1.05/2.1.00/03.0088

Číslo výsledku: *NTC-SW-02-11*

Odpovědný pracovník: *Ing. Lucie Prušáková*

Vedoucí odboru: *Doc. RNDr. Pavol Šutta, Ph.D.*

Ředitel centra: *Doc. Dr. RNDr. Miroslav Holeček*

PLZEŇ, PROSINEC 2011

Jazyk výsledku: CZ

Hlavní obor: JA

Uplatněn: ANO

Název výsledku česky:

Software pro stanovení typu vodivosti polovodičů

Název výsledku anglicky:

Software for determination of the conductivity type of semiconductors

Abstrakt k výsledku česky:

Program umožňuje určování typu vodivosti polovodičů stanovením Seebeckova napětí v závislosti na difúzi nosičů způsobenou teplotním gradientem mezi hroty lineární čtyřbodové sondy.

Abstrakt k výsledku anglicky:

The software enables the determination of the conductivity type of semiconductor materials by measuring the Seebeck voltage dependant on the diffusion of thermally generated carriers between the probes of linear four-point probe set up.

Klíčová slova česky:

Typ vodivosti; Seebeckovo napětí; polovodič

Klíčová slova anglicky:

Type of conductivity; Seebeck voltage; semiconductor

Vlastník výsledku: *Západočeská univerzita v Plzni*

IČ vlastníka výsledku: *49777513*

Stát: *Česká republika*

Lokalizace: <http://www.zcu.cz/ntc/vysledky/sw/NTC-SW-02-11.html>

Licence: *ANO*

Licenční poplatek: *NE*

Ekonomické parametry: *Snížení nákladů související se zrychlením určování typu vodivosti polovodičů.*

Technické parametry: *Luděk Hynčík, Západočeská univerzita v Plzni, Nové technologie - Výzkumné centrum v západočeském regionu, Univerzitní 8, 306 14 Plzeň, 377634709, hyncik@ntc.zcu.cz*

Kategorie nákladů: *výše nákladů ≤ 5 mil.*

1. Účel použití softwaru

Určování typu vodivosti polovodičů termoelektrickou metodou s pomocí Seebeckova jevu

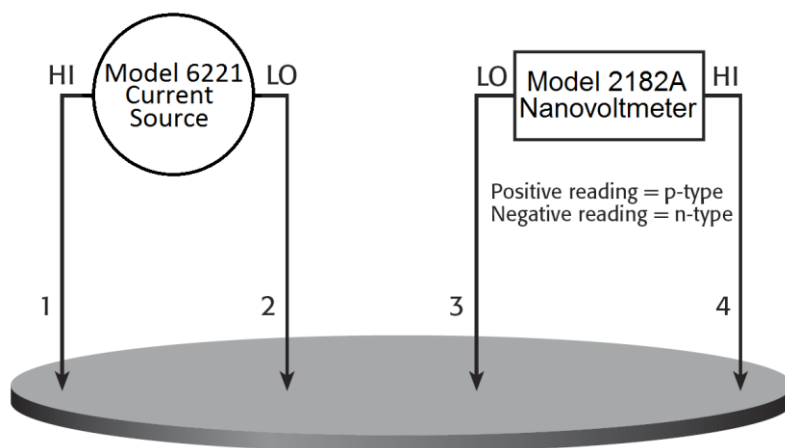
Princip vzniku termoelektrického napětí v polovodičích spočívá v tom, že jeden konec polovodiče ohříváme a druhý ochlazujeme. Elektrony a díry difundují polovodičem z teplejší oblasti T_1 , kde mají větší kinetickou energii do oblasti chladnější T_2 , kde mají kinetickou energii menší. Přebytek elektronů na jednom konci způsobuje jeho nedostatek na konci druhém, v důsledku toho vzniká elektrické pole, které zpomaluje difúzi částic, dokud nenastane rovnovážný stav. Mezi místy polovodiče s teplotami $T_1 > T_2$ vzniká elektromotorické napětí o velikosti

$$U_{1,2} = \varphi_1 - \varphi_2 = \alpha_{AB}(T_1 - T_2) \quad (1)$$

, kde α_{AB} je termoelektrický koeficient, který závisí na vlastnostech materiálů A a B, přičemž velikost je řádově 10^{-4} až 10^{-5} VK^{-1} . V polovodiči typu **p** se teplejší konec nabíjí záporně a chladnější konec kladně. V polovodiči typu **n** je tomu naopak. Polovodič typu **n** má termoelektrický koeficient α_{AB} záporný, naproti tomu polovodič typu **p** má tento koeficient kladný.

V případě bipolárního polovodiče je znaménko koeficientu α_{AB} určeno především pohyblivostí a koncentrací nosičů náboje. Někdy je výhodnější vztah (1) přepsat do tvaru, kde se vyskytuje gradient teploty

$$\frac{dU}{dx} = \alpha_{AB} \frac{dT}{dx} \quad (2)$$



Obr. 1: Schéma zapojení čtyřbodové měřicí sondy pro určení typu vodivosti polovodiče termoelektrickou metodou

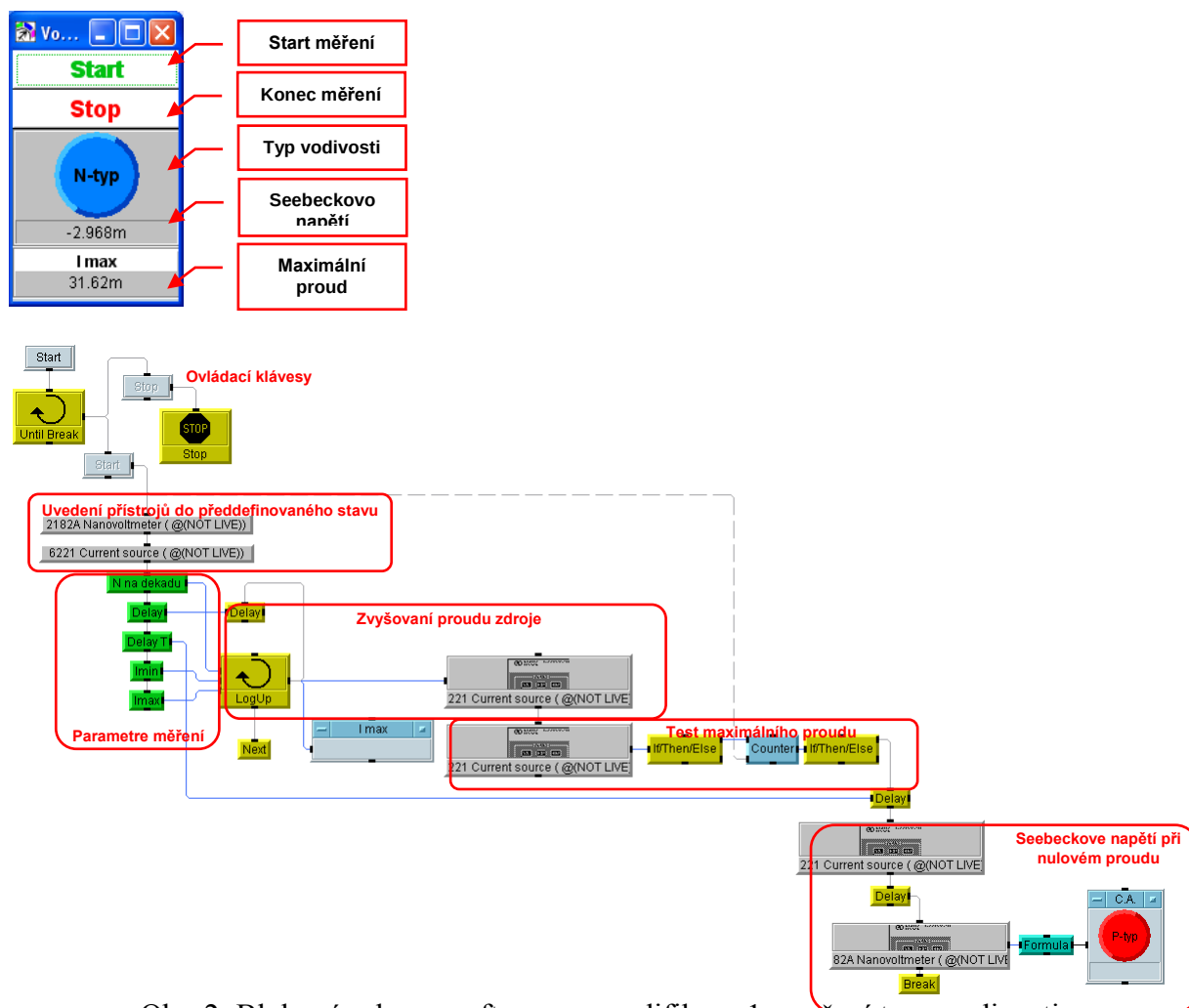
Při změně typu vodivosti polovodiče se změní znaménko naměřeného rozdílu potenciálů (napětí) na voltmetru. V případě polovodiče typu *p* naměříme kladnou hodnotu, zatímco v případě polovodiče s vodivostí typu *n* naměříme zápornou hodnotu napětí.

V místě, kde se polovodiče dotýkají proudové sondy (obr. 1) protéká elektrický proud, který vzorek lokálně ohřívá. V důsledku difuze tepla vzniká ve vzorku gradient teploty a tak je splněna podmínka pro vznik a pozorování Seebeckova jevu na sondách, na nichž je zapojený voltmetr.

2. Popis softwaru

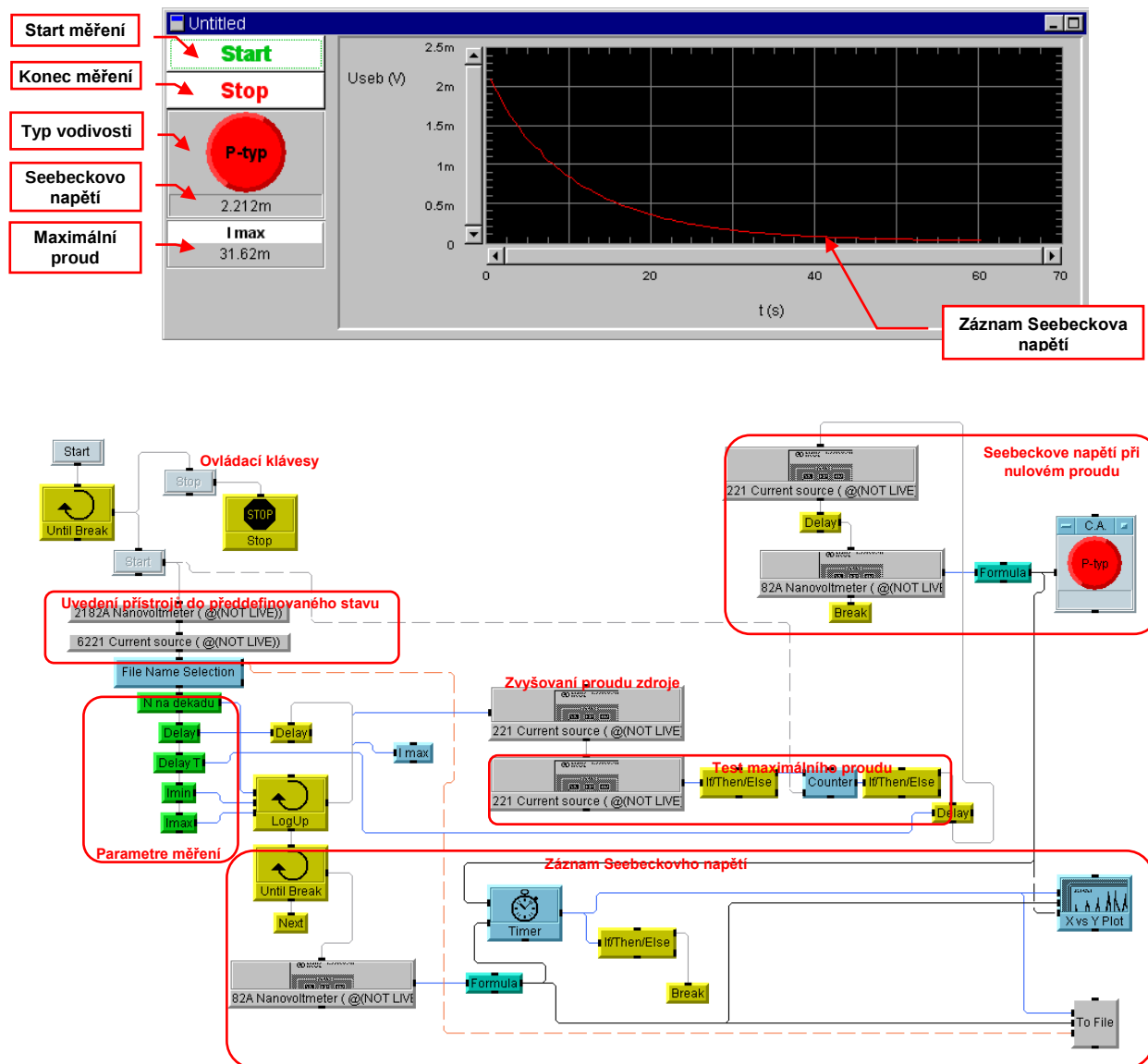
Samotný program na určování typu vodivosti polovodičů je rozdělen na tři modifikace:

1. První modifikace (obr. 2) je hlavní uživatelský program, který určuje typ vodivosti měřeného vzorku. Před samotným měřením je třeba nastavit hodnotu mezního napětí „Compliance (V)“ aplikovatelného na zkoumaný vzorek. Měření se spustí tlačítkem „Start“ a je ho možné předčasně ukončit tlačítkem „Stop“. Proudový zdroj, který slouží k ohřevu vzorku, přivádí logaritmicky se zvětšující proud na elektrody lineární čtyřsondy „1“ a „2“. Jakou zdroj proudu lze použít přístroj „Keithley 6221 DC and AC Current Source“. Po dosažení maximálního proudu „ I_{max} (A)“, který vzorkem může projít, je tento proud aplikovaný na měřený vzorek po dobu 30 sekund. Startovací (minimální) proud je 1nA. Následně je zdroj od vzorku odpojen a po 3 sekundách se odečítá „Seebeckovo napětí (V)“ z elektrod „3“ a „4“. Z polarity naměřeného Seebeckova napětí lze určit typ vodivosti polovodičového materiálu. Pro měření napětí lze vhodně použít „Keithley 2182A Nanovoltmetr“.



Obr. 2: Blokové schema softwarové modifikace 1 – určení typu vodivosti

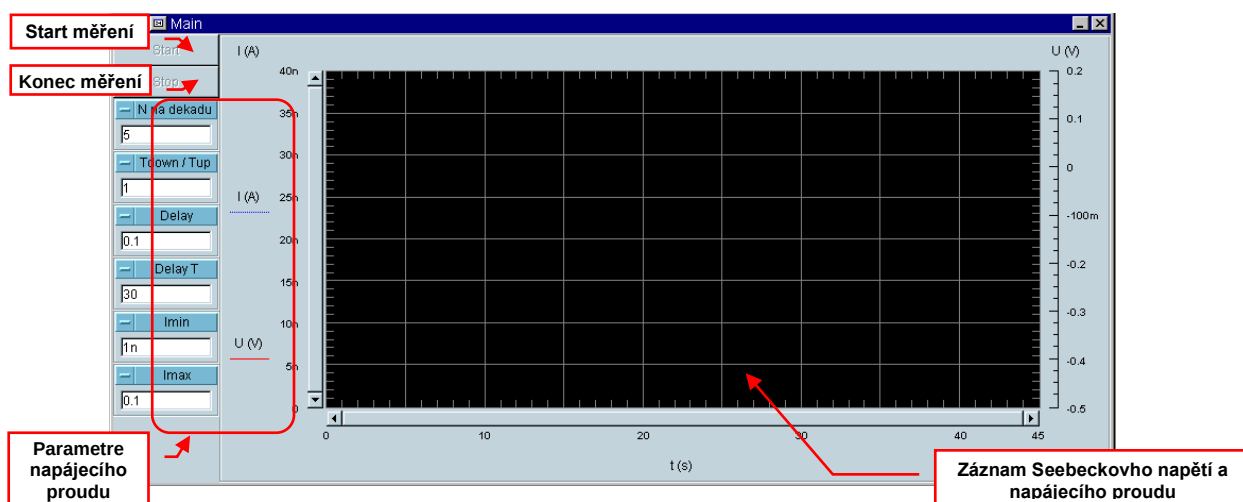
2. Druhá modifikace (Obr. 3) je rozšířená o časový záznam průběhu Seebeckova napětí v průběhu chladnutí vzorku. Data se ukládají do výstupního souboru, který uživatel zvolí na začátku měření. Z průběhu Seebeckova napětí při chladnutí vzorku bude po podrobnější analýze možné určit hodnotu tepelné vodivosti měřeného vzorku.

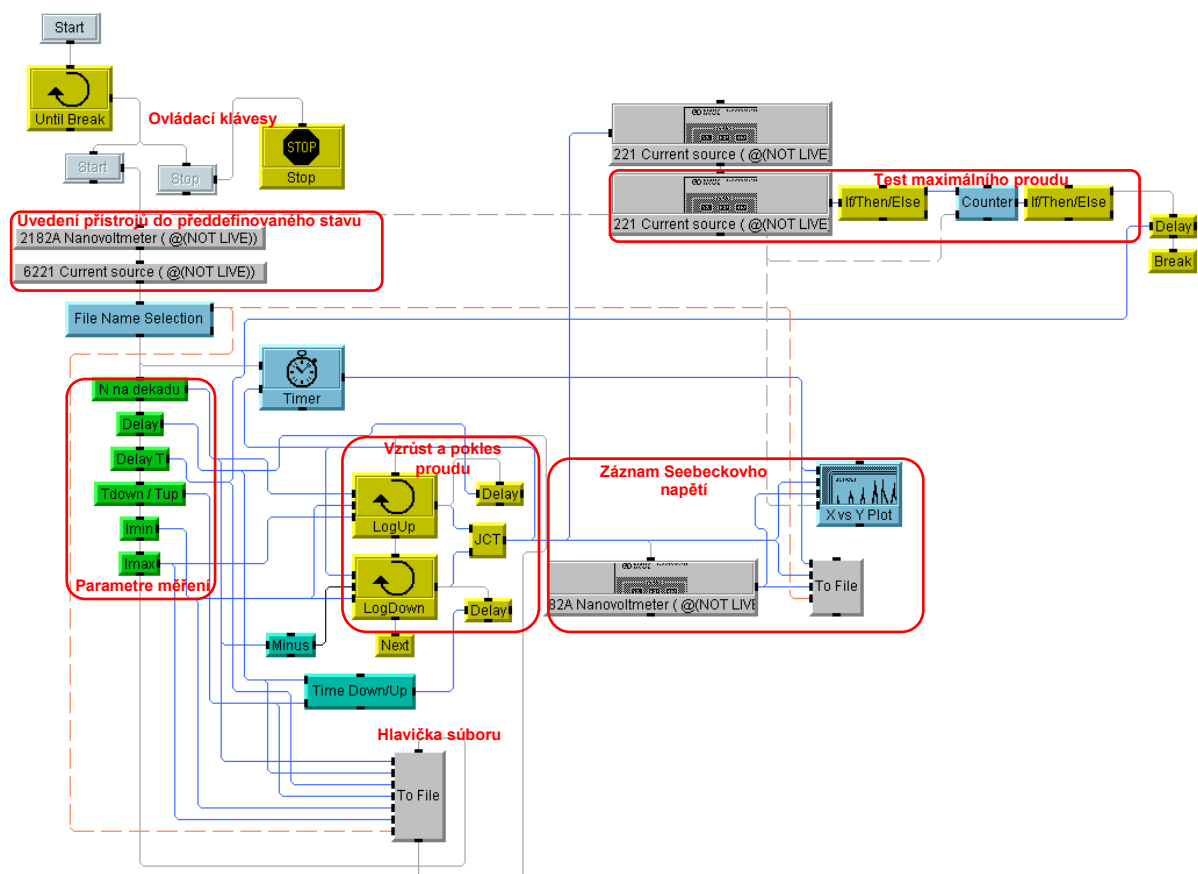


Obr. 3: Blokové schéma softwarové modifikace 2 – průběh Seebeckova napětí v závislosti na chladnutí vzorku

3. Třetí modifikace (Obr. 4) je vyvinutá speciálně pro výzkumné účely a kalibraci měření. Je rozšířená o kompletní záznam napájecího proudu a Seebeckova napětí, nejen při chladnutí, ale i při ohřevu vzorku. Do vzorku je přivázen proud, který logaritmicky roste z hodnoty „ I_{min} “ až do hodnoty „ I_{max} “ rychlostí „ N^{10} “, která určuje počet bodů proudu v dekadě. V případě dosažení maximální hodnoty proudového zdroje je proud odpojen a po uplynutí doby „ $Delay\ T$ “ začneme opět pouštět do vzorku proud, tentokrát však klesající logaritmicky k hodnotě „ I_{min} “. Parametr „ $Delay$ “ slouží ke spomalení programu, pauza před každým krokem proudu a parametr „ T_{down}/T_{up} “ udává poměr mezi prodlevami při rostoucím a klesajícím proudu. Compliance zdroje nastavuje položka „ $Compliance$ “ a rozsah proudového zdroje se mění automaticky. Během měření jsou do grafu zaznamenávány časové průběhy napájecího proudu sond 1 a 2 a měřeného napětí sond 3 a 4.

Výsledný typ vodivosti se dá velmi dobře určit z konečné hodnoty naměřeného napětí. V případě záporného napětí se jedná o polovodič typu p a v opačném případě, tj. při kladném napětí se jedná o polovodič typu n. To je zapříčiněno tím, že na konci experimentu je mezi sondami teplotní gradient způsobující vznik Seebeckova napětí na sondě 3 a 4. Tento výsledek je omezený pouze rychlostí snižování proudu. Hodnota poklesu proudu nesmí být příliš nízká, aby nedošlo k zániku teplotního gradientu vlivem prostředí.





Obr. 4: Blokové schéma softwarové modifikace 3 – kalibrační

3. Kompletní experimentální stanice pro stanovení typu vodivosti polovodivých materiálů

Měřicí pracoviště sestává z mechanické a elektronické části. Mechanickou část tvoří čtyřbodová sonda s posuvným stolem zajišťujícím kontakt hrotů sondy se zkoumaným vzorkem. Parametr lineární čtyřbodové sondy je 1,06 mm. Elektronická část je vybavena proudovým zdrojem Keithley – model 6221 dC/AC a nanovoltmetrem s vysokým vstupním odporem Keithley – model 2182A. Pracoviště je dále vybaveno osobním počítačem s programem na řízení experimentu, uchování dat a statistické zpracování experimentálních výsledků.



Obr. 5: Hardware

4. Literatura

- [1] Keithley Instruments, Inc., Measuring the Resistivity and Determining the Conductivity Type of Semiconductor Materials Using a Four-Point Collinear Probe and the Model 6221 DC and AC Current Source, Cleveland, USA, (2005).
- [2] Keithley, Inc., Operation manuals, <http://www.keithley.com/>, (2006).
- [3] Agilent Technologies, Inc., Agilent VEE Pro 9.2, www.agilent.com, (2010).