

2020年秋季大学物理实验（7）-霍尔效应与应用设计

专业班级：电气1908 学号：U201912072 姓名：柯依娃 日期：2020/11/12 实验台：14号 报告柜：J21 第十一周星期四上午

实验名称:

霍尔效应与应用设计

实验目的:

1. 通过实验掌握霍尔效应基本原理，了解霍尔元件的基本结构；
2. 学会测量半导体材料的霍尔系数的实验方法和技术；
3. 学会用“对称测量法”消除副效应所产生的系统误差的实验方法。

实验仪器材料

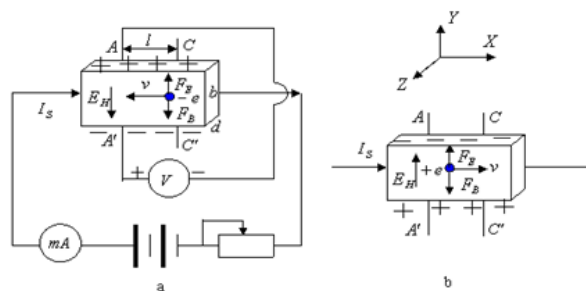
1. TH - H型霍尔效应实验仪，主要由规格为 $>2500\text{GS/A}$ 电磁铁、N型半导体硅单晶切薄片式样、样品架、IS和IM换向开关、VH和 V_{σ} （即VAC）测量选择开关组成。
2. TH - H型霍尔效应测试仪，主要由样品工作电流源、励磁电流源和直流数字毫伏表组成。

实验原理

霍尔效应

指垂直于电流方向的电势产生的现象

霍尔效应从本质上是运动的带电粒子在磁场中受洛伦兹力作用而引起的偏转。这种偏转就导致在垂直电流和磁场的方向上产生正负电荷的聚积，从而形成附加的横向电场。当载流子所受的横电场力 $f_e = eE_H$ 与洛伦兹力 $f_m = evB$ 相等时，样品两侧电荷的积累就达到平衡，



$$eE_H = evB \quad (1)$$

$$I_s = nevbd \quad (2)$$

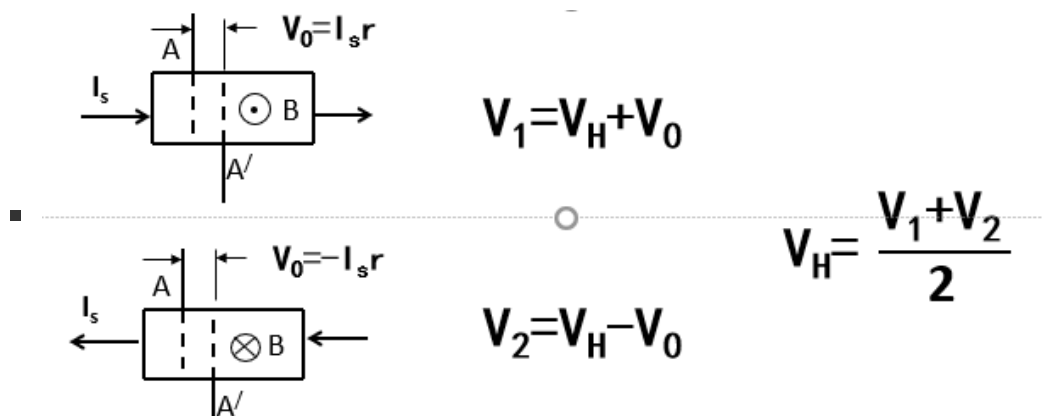
由 (1)、(2) 两式可得：

$$V_H = E_H \cdot b = \frac{1}{ne} \cdot \frac{I_s B}{d} = R_H \frac{I_s B}{d} \quad (3)$$

比例系数 $R_H = \frac{1}{ne}$ 称为霍尔系数，它是反映材料霍尔效应强弱的重要参数，

副效应分析

- 不等势电压降 V_0 ：(V_0 的符号与 I_s 的方向有关，可通过改变 I_s 的方向予以消除)
 - 测量霍尔电压的电极 A 和 A' 不可能绝对对称地焊在同一个理想的等势面上引起的电势差
 - 为横向电压 V_H
 - 故通过改变 I 的符号求平均可消除此影响



- 爱廷豪森效应——热电效应引起的附加电压 V_E
 - 当样品在 x 轴方向通以电流，在 Z 方向加磁场，因电子速度不是严格相等的，速度快和慢的电子，未同时到达，于是在 y 方向的一端比其另一端积累较多的能量，便产生温度 ΔT 。
 - ΔT 的大小与电流和磁场的乘积成正比，所以爱廷豪森效应的电压 V_E 的符号与 I, B 的乘积有关。
 - 故通过改变 $I \cdot B$ 的符号求平均可消除此影响
- 能斯脱效应——热磁效应直接引起的附加电压 V_N
 - 当热流通过样品时，在 x 方向存在温度梯度。沿温度梯度而有扩散倾向的电子在 Z 方向磁场的作用下
 - 在 y 方向建立的电位差 V_H 与磁场大小及热流的温度梯度成正比，因此 V_H 的符号与 B 有关
 - 故通过改变 B 的符号求平均可消除此影响

- 里纪——勒杜克效应引起附加电压VRL
 - 当样品在x方向有热流通过样品时，在Z方向的磁场作用下，而电子速度的分布将在y方向产生温度梯度，它与热流的温度梯度及磁场大小成正比。
 - 故里纪勒杜克效应VRL的符号与B有关
 - 故通过改变B的符号求平均可消除此影响

综上，可以通过改变磁场电流方向抵消影响

测量时通过改变磁场、电流方向就可以减少和消除这些副效应的影响。

(+I_s、 +B)

V₁

(+I_s、 -B)

V₂

(-I_s、 -B)

V₃

(-I_s、 +B)

V₄

$$V_H = \frac{V_1 - V_2 + V_3 - V_4}{4}$$

对称测量法

通过此装置可以测量出电压，进而通过 $V_H = E_H \cdot b = \frac{1}{ne} \cdot \frac{I_s B}{d} = R_H \frac{I_s B}{d}$ 算出需要的值
 (eg.B)

数据处理

尺寸

$$b = 4.00 \pm 0.02mm$$

$$d = 0.500 \pm 0.004mm$$

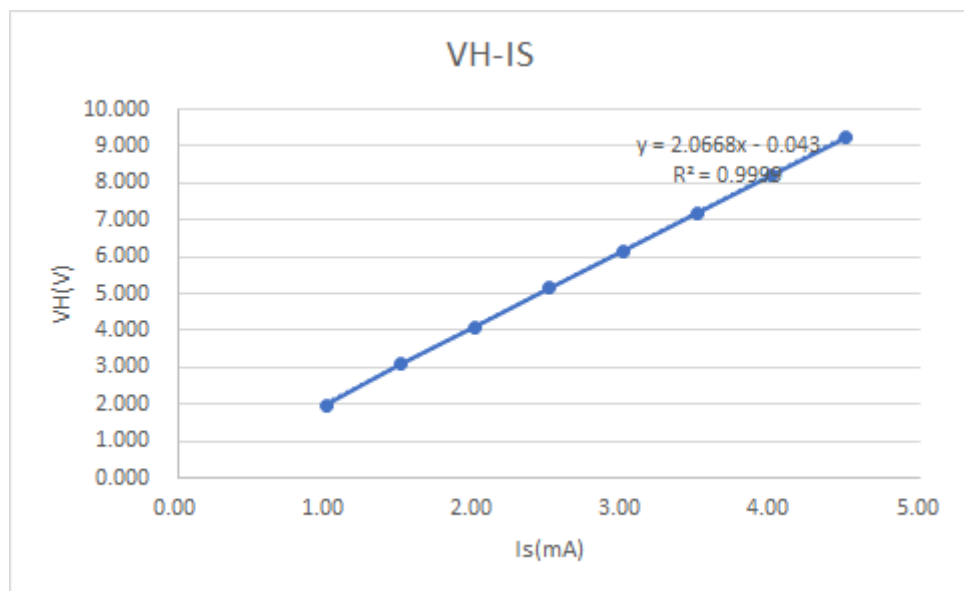
$$l = 3.00 \pm 0.02mm$$

$$K_H = 1.78 \frac{KGS}{K}$$

实验一-恒定磁场，UH—Is关系

- 保持IM不变 取IM = (0.450±0.001) A测绘VH - IS曲线

Is(mA)	V1	V2	V3	V4	VH
	+Is +B	+Is -B	-Is -B	-Is +B	
1.00	2.43	-1.40	2.54	-1.56	1.983
1.50	3.75	-2.40	3.52	-2.66	3.083
2.00	4.78	-3.42	4.45	-3.74	4.098
2.50	5.90	-4.38	5.51	-4.78	5.143
3.00	6.97	-5.38	6.46	-5.84	6.163
3.50	8.02	-6.38	7.46	-6.93	7.198
4.00	9.07	-7.38	8.44	-8.00	8.223
4.50	10.14	-8.34	9.43	-9.04	9.238



$$R_H = \frac{V_H \cdot d}{I_S \cdot B} = k \cdot \frac{d}{B} = k \cdot \frac{d}{I_M \cdot K_H}$$

得 $R_H = 12.9 \text{ m}^3/\text{C}$

$$U_r = \sqrt{\left(\frac{1}{k} \cdot u_k\right)^2 + \left(\frac{1}{d} \cdot u_d\right)^2 + \left(\frac{1}{I_M} \cdot u_{I_M}\right)^2}$$

$U_r = 1.63\%$

$U = U_r \cdot R_H = 0.2 \text{ m}^3/\text{C}$

得 $R_H = (12.9 \pm 0.2) \text{ m}^3/\text{C}$

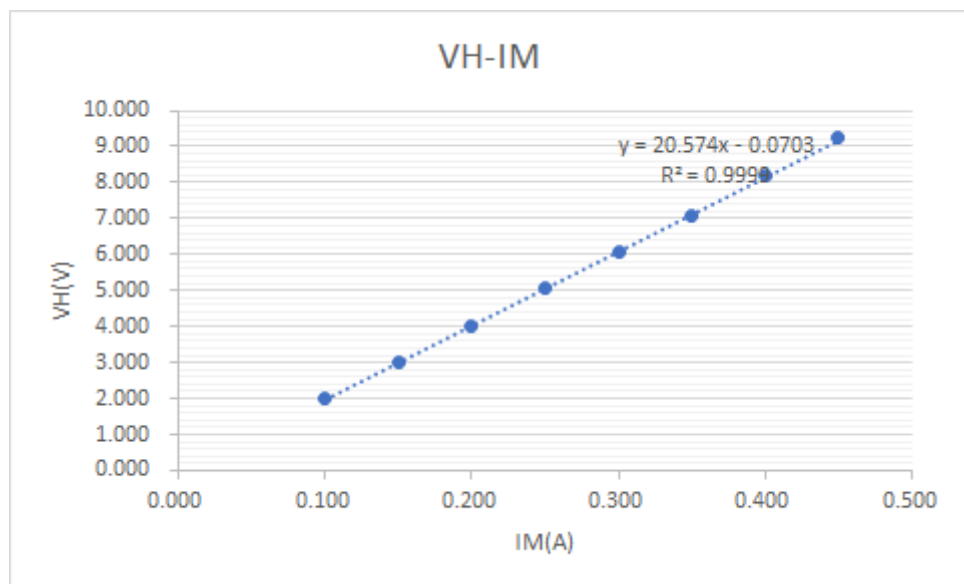
$$R_H = \frac{1}{ne} \quad \text{——— 霍尔系数}$$

$n = (4.84 \pm 0.08) \times 10^{17} \text{ m}^{-3}$

实验二-恒定工作电流，UH—IM关系

保持 I_s 不变 取 $I_s = (4.50 \pm 0.01) \text{ mA}$ 测绘 $V_H - I_M$ 曲线

Im(A)	V1	V2	V3	V4	VH
	+Is +B	+Is -B	-Is -B	-Is +B	
0.100	2.99	-1.07	2.23	-1.82	2.028
0.150	3.95	-2.10	3.23	-2.80	3.020
0.200	4.98	-3.07	4.30	-3.77	4.030
0.250	6.00	-4.06	5.32	-4.82	5.050
0.300	7.00	-5.14	6.30	-5.83	6.068
0.350	8.02	-6.16	7.37	-6.85	7.100
0.400	9.10	-7.24	8.43	-7.95	8.180
0.450	10.15	-8.29	9.46	-9.00	9.225



VH (伏), I(安), B(高斯), d(厘米)时

$$R_H = \frac{V_H}{I_M} * \frac{d}{I_S K_H} = 12.8 m^3/C$$

$$U_r = \sqrt{\frac{u_k^2}{k} + \frac{u_d^2}{d} + \frac{u_{I_S}^2}{I_S}} = 1.63\%$$

$$U = U_r \cdot R_H = 0.2 m^3/C$$

$$\text{得 } R_H = (12.8 \pm 0.2) m^3/C$$

$$R_H = \frac{1}{ne} \quad \text{—— 霍尔系数}$$

$$n = (4.87 \pm 0.08) * 10^{17} m^{-3}$$

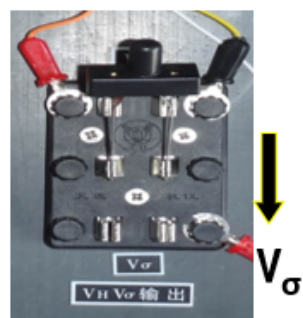
实验三-在零磁场下，测VAC

！ 注意切换功能

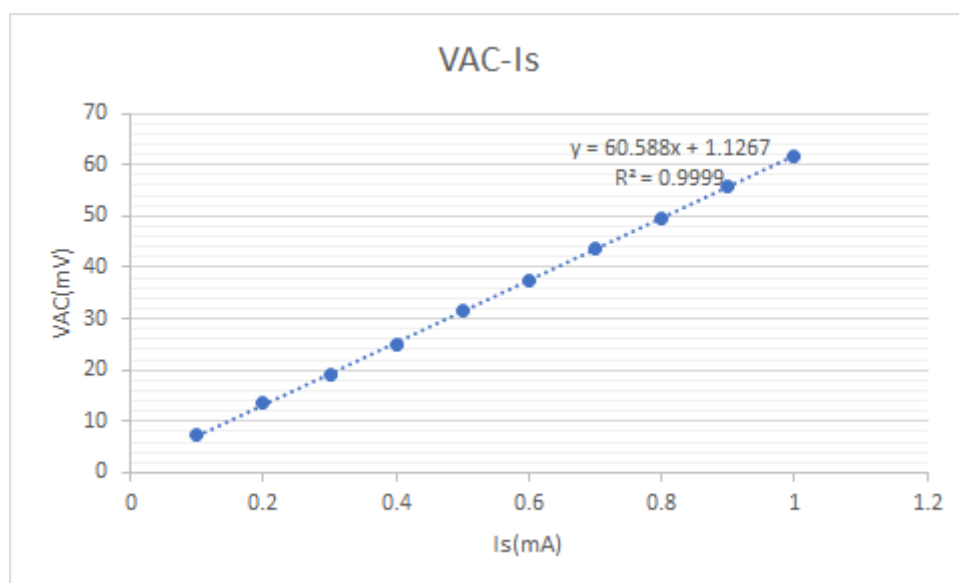
$B=0$ ($I_M=0$)



注意切换！



$I_s(\text{mA})$	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
$V_{AC}(\text{mV})$	7.2	13.5	19.1	25.1	31.6	37.4	43.6	49.5	55.9	61.6



$$\sigma = \frac{I_s}{V_{AC}} \cdot \frac{L_{AC}}{S} = k \cdot \frac{L_{AC}}{b \cdot d}$$

$$\mu = R_H \cdot \sigma$$

则计算得到

$$\sigma = 90882 \Omega^{-1} \text{m}^{-1}$$

$$\mu = 1172400 \text{As}^2/\text{kg}$$

$$U_\sigma = 1.53\% \cdot \sigma = 1400 \Omega^{-1} \text{m}^{-1}$$

$$U_{\mu} = 2.23\% * \mu = 26000\Omega^{-1}m^{-1}$$

则

$$\sigma = 90000 \pm 1400\Omega^{-1}m^{-1}$$

$$\mu = 1170000 \pm 26000As^2/kg$$

扩展实验-测量磁场（横向、纵向）

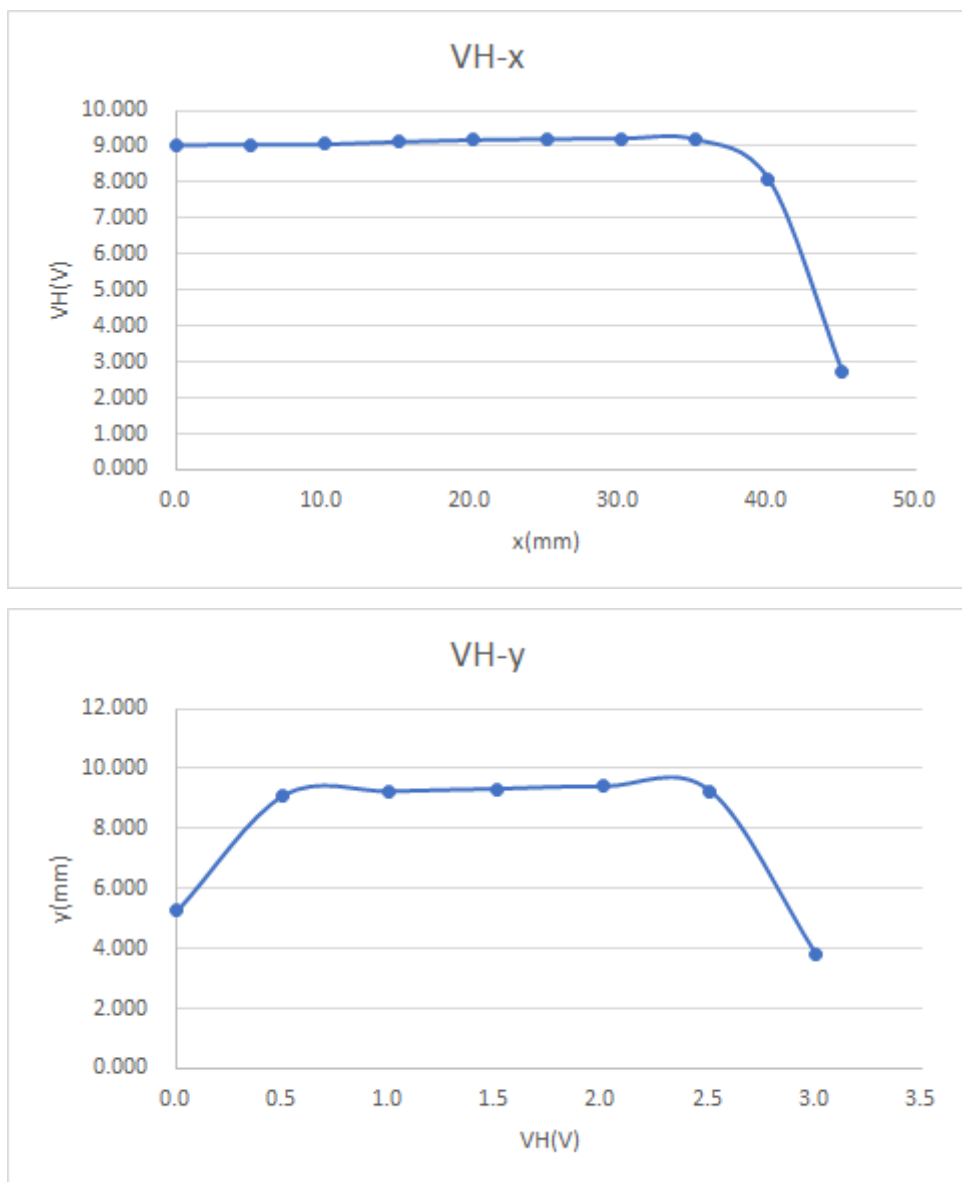
测量磁场横向分布曲线Im=0.450A，Is=4.50mA

更改霍尔元件位置，通过装置测得对应VH，霍尔元件所在位置的磁场，从而得到B-x图

注意此次测量的结果是B绝对值（因为测量VH时B方向变了）

x(mm)	V1(+IS+B)	V2(+Is-B)	V3 (-Is-B)	V4 (-Is+B)	VH
0.0	9.95	-8.11	9.27	-8.82	9.038
5.0	9.98	-8.11	9.30	-8.83	9.055
10.0	10.00	-8.10	9.30	-8.84	9.060
15.0	10.05	-8.22	9.36	-8.89	9.130
20.0	10.15	-8.20	9.45	-8.92	9.180
25.0	10.19	-8.22	9.46	-8.97	9.210
30.0	10.23	-8.20	9.39	-9.05	9.218
35.0	10.24	-8.22	9.36	-8.99	9.203
40.0	9.17	-6.91	8.52	-7.75	8.088
45.0	3.78	-1.75	2.85	-2.50	2.720

y(mm)	V1(+IS+B)	V2(+Is-B)	V3 (-Is-B)	V4 (-Is+B)	VH
0.0	5.95	-4.60	5.31	-5.18	5.260
0.5	10.10	-8.18	9.26	-8.87	9.103
1.0	10.18	-8.31	9.40	-9.06	9.238
1.5	10.24	-8.42	9.50	-9.12	9.320
2.0	10.33	-8.49	9.58	-9.22	9.405
2.5	10.28	-8.36	9.43	-8.92	9.248
3.0	4.65	-3.03	3.92	-3.51	3.778



可以看出在中间部分磁场大小基本不随xy改变而变，边缘迅速下降

拓展问题

1. 如果两个换能器不平行对实验有什么影响？

无法形成驻波

2. 实验中应如何确定换能器的共振频率？

找到相同电压下能使测得压强幅值最大的频率

即

检查线路，正确连线。
调节信号源上的“发射强度”旋钮，使其输出电压峰峰值 (V_{p-p}) 在1-2V左右(示波器模式置CH1)。改变频率使接收信号振幅达到最大(示波器模式置CH2)(34.5kHz~39.5kHz)。
改变S1、S2 距离，使示波器屏上正弦波振幅达到最大，再次调节正弦信号频率使之最大。记录此频率 f_0 ，测量中保持该频率不变。

3. 试用本实验的仪器设备测量空气的比热和摩尔质量，写出实验原理、步骤和数据处理的方法。

- 实验原理完全相同

3. 理想气体中的声速

声波在理想气体中的传播可以认为是绝热的，声速可表示为

$$v = \sqrt{\frac{\gamma R T_0}{\mu} \left(1 + \frac{t}{T_0}\right)} = \sqrt{\frac{\gamma R T_0}{\mu}} \sqrt{\left(1 + \frac{t}{T_0}\right)} = v_0 \sqrt{\left(1 + \frac{t}{T_0}\right)} \quad (3.12-9)$$

式中 $\gamma = c_p / c_v$ 是气体的比热； $R=8.314\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ 是摩尔气体常数； μ 是气体的摩尔质量； t 是气体的摄氏温度， $T_0 = 273.15\text{K}$ 。若把干燥空气看作是理想气体，在 0°C 时 $v_0 = 331.45\text{m/s}$ 。若再考虑大气压和空气中水蒸汽的影响，则声速为

$$v = \sqrt{\frac{\gamma R T_0}{\mu} \left(1 + \frac{t}{T_0}\right) \left(1 + \frac{0.3192 p_w}{p}\right)} \quad (3.12-10)$$

式中 p 为大气压； p_w 是水蒸汽的分压强，它等于温度为 t 时空气中水蒸汽的饱和蒸汽压 p_s (参见本实验后附录) 乘以当时的相对湿度 H ， H 可从干湿温度计上读出。

- 实验流程完全相同，计算出 v
- 进而通过 3.12-10 式得到空气的比热容/摩尔质量的值，故比热容和摩尔质量可以相互推导得到

4. 对固体媒质，用改变 S2 的位置来改变传播距离求出波长再计算声速的方法往往不可行。试在传播距离不能改变的条件下，设计一种利用本实验提供的设备测量声速的方法。

改变频率，即改变了波长，当波长恰好为距离的整数倍时会产生极大值（注意是极大值不是最大值），记录这些频率和对应传播距离 L

$$\begin{aligned} f &= \frac{u}{\lambda} \\ \frac{L}{\lambda} &= k (k \in \mathbb{Z}) \\ \frac{L f}{u} &= k \\ u &= L \Delta f \end{aligned}$$

故同样，采用逐差法可以测得 u

plus，采用时差法也可以

以脉冲调制正弦信号输入到发射器，使其发出脉冲声波，经时间 t 后到达距离 L 处的接收器。接收器接收到脉冲信号后，能量逐渐积累，振幅逐渐加大，脉冲信号过后，接收器作衰减振荡。 t 可由测量仪自动测量。测出 L 后，即可由 $V=L/t$ 计算声速。

5. 工程中常需要在无损的条件下精确测量某些部件的厚度。若已知部件的材料，在上一问题的基础上设计一种超声测厚的方法。

同理，反过来，已知 u ， $L=u/\Delta f$ ，则通过逐差法可以测量得到厚度 L

plus，采用时差法也可以

以脉冲调制正弦信号输入到发射器，使其发出脉冲声波，经时间 t 后到达距离 L 处的接收器。接收器接收到脉冲信号后，能量逐渐积累，振幅逐渐加大，脉冲信号过后，接收器作衰减振荡。 t 可由测量仪自动测量，带入已知 V ，即可由 $L=Vt$ 计算厚度。

