

文章编号:1007-2934(2017)03-0047-04

磁阻效应实验曲线拐点的确定

汪连城

(南京工程学院,江苏 南京 211167)

摘 要: 在磁阻效应实验中,相对磁阻变化曲线的非线性和线性部分的拐点是人为判断的,具有较大的不确定性.本文采用循环迭代的方法,在假定拐点的情况下,精确的确定拐点,使得实验曲线的非线性部分和线性部分能够同时得到最大程度的拟合。

关 键 词: 磁阻效应实验;磁阻变化曲线;拐点的确定;曲线拟合

中图分类号: O 441.5

文献标志码: A

DOI: 10.14139/j.cnki.cn22-1228.2017.03.012

磁阻效应是指横向磁场下导体或半导体电阻率发生改变的物理现象,它是由霍尔效应即载流子在横向磁场作用下的漂移造成的。在大学物理实验磁阻效应中^[1],采用 InSb^[2] 半导体作为研究对象,在半导体中垂直于电流的方向上加载横向磁场,然后测量半导体两端的电压和通过的电流,最后再计算出半导体的电阻。由于在整个实验中半导体材料的尺寸和形状保持不变,因此电阻率的相对变化可以用电阻的相对变化来表征。

材料的相对磁阻随外加横向磁场的变化曲线(简称磁阻曲线)呈现出两个性质截然不同的部分。在外加磁场较弱的时候,磁阻随磁场的变化呈现出非线性函数关系;而在外加磁场较强时,磁阻随磁场的增大线性增加。这样,就导致两个函数关系不同的分段曲线之间的结合点即拐点的出现。无论是在教材还是现有文献中,这个拐点的确定是人为的,即通过肉眼观察,在磁阻变化曲线上找出一个数据点 B',在这个数据点的左侧是非线性部分,右侧是线性部分。这具有较大的不确定性^[3,4]。

拐点的位置确定后,对小于拐点的磁场所对应的数据即非线性部分和大于拐点的磁场所对应的数据即线性部分分别进行拟合。通常情况下,对非线性 kB^n 型函数进行拟合;对线性部分采取 $aB+b$ 型函数进行拟合。同时也可以对两段曲线

都采取 aB^2+bB+C 型函数进行拟合,让最小二乘法决定两段曲线的次数。而函数拟合所采取的方法,主要是实验教材上多采用的作图法^[1]和文献中多采用的最小二乘法^[3,4]。作图法相对简单,但拟合的精度不高;最小二乘法拟合精度较高,但往往需要计算机程序的辅助来完成。最小二乘法的实现既可以借助办公软件例如 Excel^[3] 或 Origin^[4] 来完成,也可以通过程序语言编程来实现。而后者可以通过设置循环计算因此更适合于需要多次拟合的场合,同时也是本文采取的方法。

在最小二乘法框架内判断函数曲线拟合的好坏,是由相关系数 λ 决定的。 λ 越接近 1,说明曲线拟合的越好、误差越小,反之则说明曲线拟合的不好。本文中,通过循环设置拐点的位置,分别拟合拐点左侧的非线性部分和右侧的线性部分,计算出拟合的相关系数;再通过对不同拐点下计算出来的相关系数,得出使得两部分曲线同时得到最大程度拟合的拐点,从而精确的确定拐点的位置。

1 磁阻变化曲线的阶差分析

在本文中,一共采集了四组数据,分别在四套不同的实验设备上完成。得到的磁阻曲线如图 1 所示。

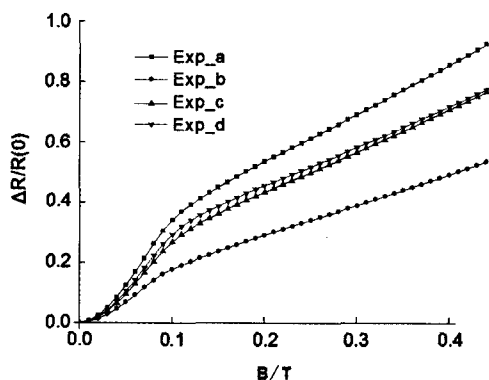


图1 四组磁阻曲线

由图1可以看出,磁阻随外加磁场的增加,呈现出明显的先非线性、后线性的变化规律。由于采用的是等磁场间隔的数据采集方式,我们计算了每一组数据的阶差和差商^[5]。计算结果显示,对于二阶差商,在非线性区域具有明确的非零值;而在线性区域则为零。同时,三阶及以上的差商没有表现出明显的规律。这表明可以用二次多项式和线性函数分别拟合磁阻曲线的非线性和线性部分。

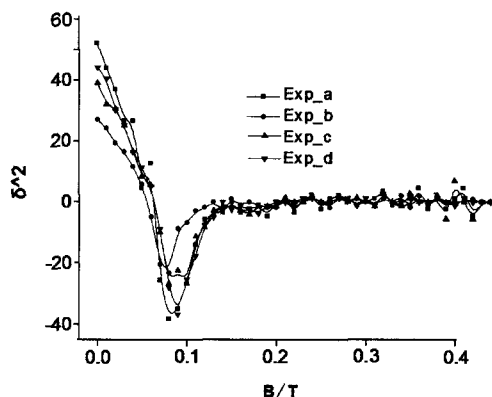


图2 磁阻曲线的二阶差商

如图2所示,在磁场较弱的区域,二阶差商具有确定的值;当磁场达到一定大小后,二阶差商的值趋于零,这充分说明了用二次多项式来拟合非线性区域以及线性函数来拟合线性区域的合理性。

2 磁阻变化曲线的线性拟合

对曲线的线性部分,采取线性最小二乘法直接拟合;对非线性部分,令其曲线形式为 $\Delta R/R(0) = kB^n$,两边取对数得 $\ln[\Delta R/R(0)] = \ln k +$

$n \ln B$,这样曲线就成为一个以 $\ln B$ 为自变量, $\ln[\Delta R/R(0)]$ 为应变量的线性函数。利用自编的小程序,计算出上述线性函数的零次项 $\ln k$ 和一次项 n ,即得到磁阻曲线的非线性部分。为了反映拟合程度的好坏,计算了相关系数 λ , λ 的值越接近 1 则拟合的越好。在计算程序中,拐点的循环取值范围是 0.03 T 到 0.2 T,即:假设拐点为 0.03 T,分别计算出以 0.03 T 为分界的非线性(拐点左侧)和线性部分(拐点右侧)的相关系数 λ_1 和 λ_2 ;再假设拐点位于 0.04 T,计算出的 λ_1 和 λ_2 ,以此类推;最后将不同拐点所对应的相关系数汇总到一张图上。由于一共有四组独立的实验数据,因此最终计算结果如图3所示。

图3的计算结果显示,在4个独立的实验中(即 Exp.a ~ d):(i) 当拐点的选择较小时,磁阻曲线的非线性部分的拟合相关系数接近于 1,即拟合的较好(在图中用黑色方形表示,即 λ_1),而线性部分的拟合相关系数却比较小,即拟合的不好(图中用红色圆形表示,即 λ_2);反之,当拐点的选择较大时,磁阻曲线的线性部分拟合的较好而非线性部分却拟合的不好;(ii) 当拐点的选择适中时,磁阻曲线的两个部分都能得到较好的拟合;(iii) λ_1 和 λ_2 对应曲线的交点处的磁场就是最佳拐点。

计算结果还表明,虽然实验材料都是 InSb,但由于尺寸和形状的不同,其拐点的最佳取值是不一致的。在四个实验中,按照线性拟合的方法,拐点的最佳取值分别是(按四个独立实验 Exp.a ~ d 的顺序):96 mT, 87 mT, 98 mT, 97 mT。总的来说,拐点都是分布在 90 mT 左右。

3 磁阻变化曲线的多项式拟合

上文所描述的方法假设磁阻曲线的非线性部分可以表达为单项幂函数的形式,而由差商的计算可以判断其是二次多项式。因此在这一部分中,我们利用基于最小二乘法的多项式拟合方法直接拟合磁阻曲线,其中多项式的最高次选择为 2 次,即采取 $\Delta R/R(0) = aB^2 + bB + C$ 型函数。接下来的计算思路和第2部分一致,即让拐点的取值从 0.03 T 到 0.2 T,分别拟合磁阻曲线的两个部分以得到相关系数,最后汇总到一张图上,如图4

所示。

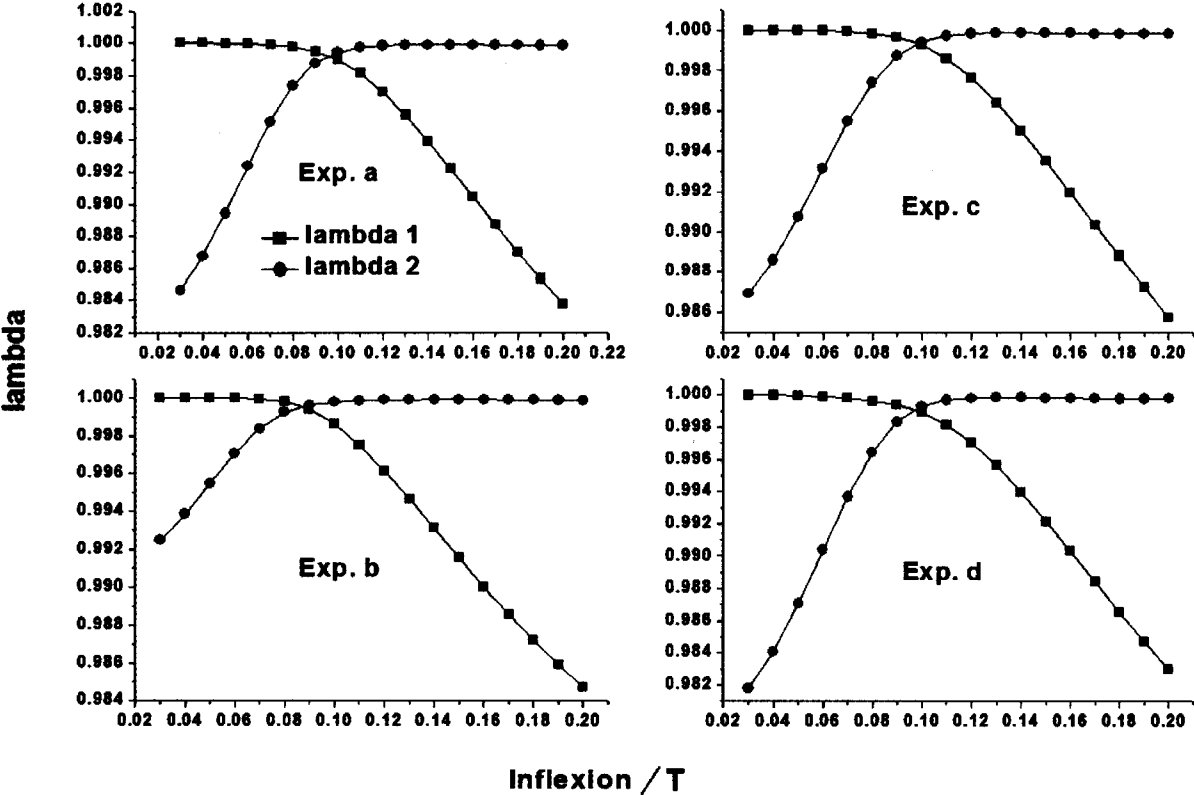


图 3 不同拐点下的线性拟合相关系数 λ 组图

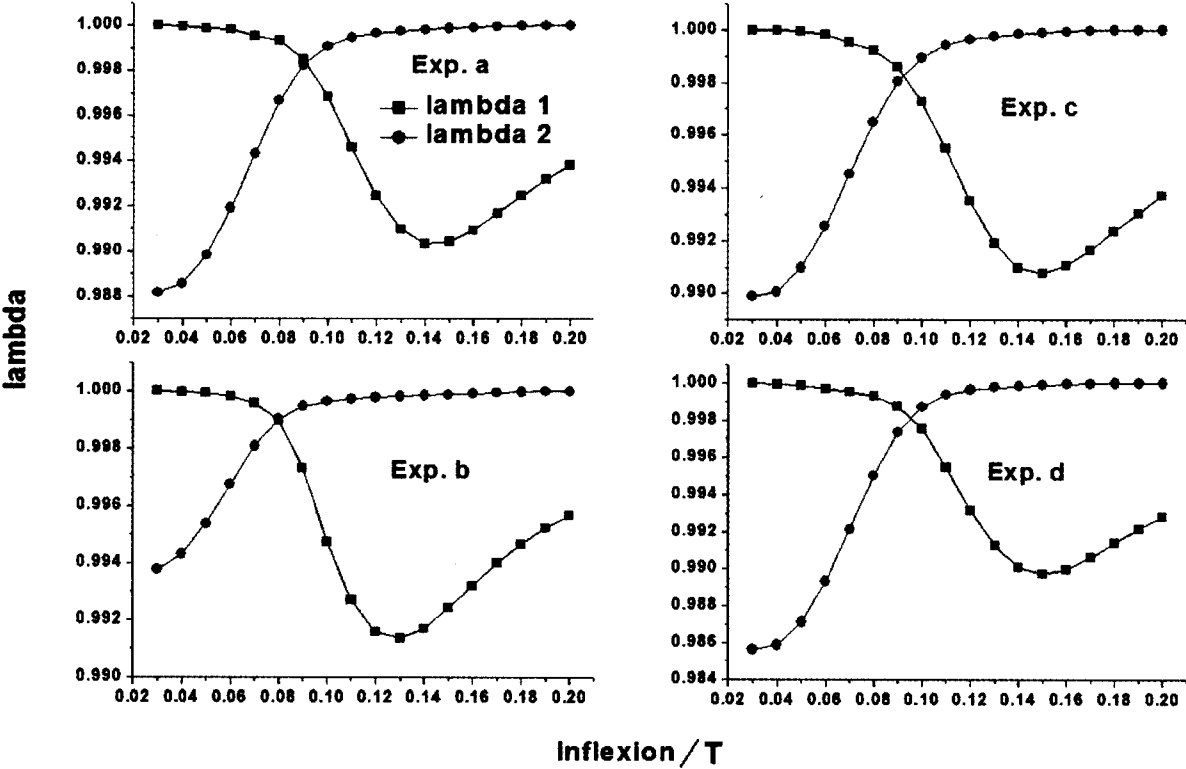


图 4 不同拐点下二次多项式拟合的相关系数 λ 组图

从计算结果可以看出,其变化规律和第2部分采用线性拟合方法得到的相似。当拐点的选择过小或过大时,磁阻曲线的分段拟合只能得到一半的最佳;只有当拐点的选择适中时,才能同时达到非线性和线性两个部分最佳的拟合。由此确定的最佳拐点位置分别是(按四个独立实验 Exp. a ~ d 的顺序):91 mT, 80 mT, 93 mT, 95 mT。这和第2部分的计算结果是基本一致的。

4 结 论

综上所述,在磁阻效应实验中,采用循环假定磁阻曲线中非线性、线性部分分割点即拐点的方法,采用两种方法对磁阻曲线进行了拟合。结果显示,为了最大程度的兼顾两个部分曲线的拟合精度,拐点的精确计算是需要和可行的。从四个独立实验来看,由于实验材料的不同,拐点并不是确定的,而是需要作出具体的计算;同样的,对于不同的拟合函数,拐点的取值也不是完全一致的。

但总的来说,对于 InSb 材料,拐点的磁场取值范围在 80 ~ 100 mT 区域。

参考文献:

- [1] 唐曙光. 大学物理实验[M]. 1 版. 北京: 高等教育出版社, 2011: 126-130.
- [2] 林达荃. 铟化铟的物理特性及其应用[J]. 物理通报, 1963, 13(2): 72-81.
- [3] 唐春红, 唐曙光, 刘扬正. Excel 最小二乘法在磁阻效应实验中的应用[J]. 物理通报, 2013(4): 69-71.
- [4] 徐海英. 用 Origin8.5 软件处理磁阻效应实验数据[J]. 化学工程与装备, 2015(11): 23-24.
- [5] 丁鸣. 铟化铟传感器的磁阻效应特性数据的回归分析[J]. 南京工程学院学报: 自然科学版, 2011, 9(1): 20-25.
- [6] 唐亚明, 周儒杰, 郝晓玲. 基于霍尔元件磁阻效应的微距测量演示装置[J]. 大学物理实验, 2016(2): 71-74.
- [7] 杨春振, 崔泽轮. 基于新型磁阻传感器的地磁倾角测量[J]. 大学物理实验, 2012(4): 3-5.

The Determination of Inflexion in the Magnetoresistive Effect Experiment

WANG Lian-cheng

(Nanjing Institute of Technology, Jiangsu Nanjing 211167)

Abstract: In magnetoresistive effect experiment, by assuming the location of inflexion, the nonlinear and linear parts of the magnetoreistive curves are fitted, respectively. It is suggest that the location of inflexion can be determined precisely by comparing the coefficients of the fitting.

Key words: magnetoresistive effect experiment; magnetoreistive curves; determination of inflexion; curve fitting