

學無止境

黃志方 著

東華大學出版社



熱烈慶賀

上海電器

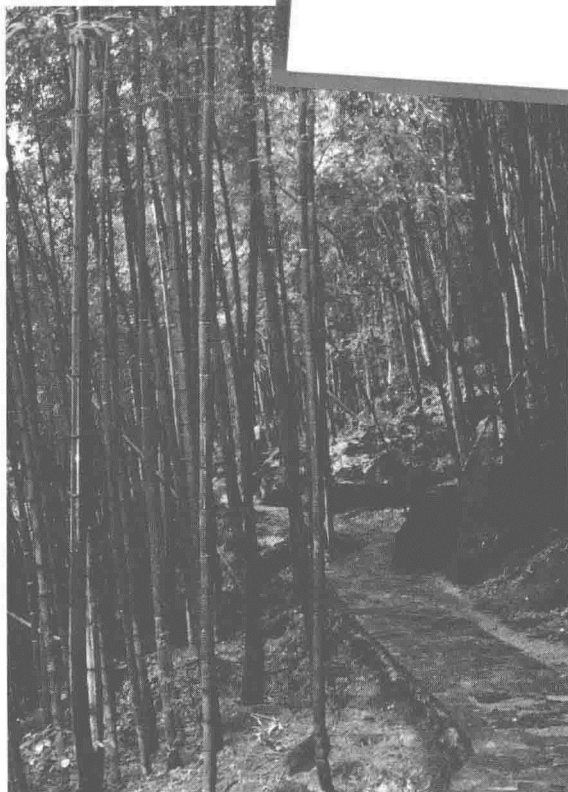
八十華誕

1936-2016

學無止境

黃志方 著

東華大學出版社·上海



熱烈慶賀
上海電器
八十華誕
1936-2016

图书在版编目 (CIP) 数据

学无止境 / 黄志方著. —上海: 东华大学出版社,
2015.11

ISBN 978-7-5669-0920-6

I. ①学… II. ①黄… III. ①科学技术—文集 ②中国
文学—当代文学—作品综合集 IV. ① Z427

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 242484 号

责任编辑: 库东方

封面设计: 戚亮轩

学无止境

XUEWU ZHIJING

黄志方 著

出版: 东华大学出版社 (上海市延安西路 1882 号, 200051)

本社网址: <http://www.dhupress.net>

天猫旗舰店: <http://dhdx.tmall.com>

营销中心: 021-62193056 62373056 62379558

印刷: 句容市排印厂

开本: 787mm × 1092mm 1/16

印张: 22

字数: 453 千字

版次: 2015 年 11 月第 1 版 2015 年 11 月第 1 次印刷

书号: ISBN 978-7-5669-0920-6 / Z · 001

定价: 68.00 元

前言

从 1936 年创办迄今，上海上器历经了创业、开拓、发展的八十年光辉历程。在这 80 年的历史长河里，上海上器从无到有、从弱到强，如今已经成为一家以输配电专业为核心产业，集研发、生产、销售、工程承包、进出口贸易为一体的企业集团公司。

点滴之水，万千江河，最终汇流成汹涌波涛的大海。继往开来，辉煌业绩来自于点滴的积累。在过去的八十年中，经过一代又一代上器人的努力，上海上器的输配电、成套、船用、矿用、防爆等电器产品广泛应用于电力、能源、船舶、冶金、化工、交通、建筑等行业以及军事装备、设施等领域，历年来在国内外一千多项重大工程的建设中，取得了优异的实绩和丰硕的成果。

在上海上器八十年的历史长河中，黄志方先生于 1992 ~ 1994 年担任了上海电器厂厂长，为上海上器的发展作出了重要的贡献。1993 年，黄志方先生成功合资组建了上海西门子开关有限公司，担任该合资公司首任董事长，引进德国西门子 8BK20 高压开关装置等先进电器技术，为上海电器的发展写下了浓重的一笔。

黄志方先生早年毕业于中国科技大学，毕业后在国防科委某研究所从事核武器试验科研，曾直接参与我国第一颗氢弹爆炸等核试验工作。黄志方先生从部队转业到上海后，在上海电器系统长期从事技术和管理的工作，曾写下数十万字的科技论文，先后发表在各种专业期刊上。近年来，黄志方先生又勤于文字耕耘，写下了数十万字的文学作品。其中，2010 年他与子珂合著了 21 集电视连续剧剧本《历史的丰碑》；2012 年他与汪金通、郭东升合作发明专利《等离子体废物气化和发电系统的设计》。

值此上海上器八十周年大庆之际，黄志方先生有意将自己历年来写作的科技论文、文学作品等汇编成书，以作为对上海上器八十周年的庆贺！在此，我代表上海上器集团全体员工，谨向前辈黄志方先生表示由衷的敬意和衷心的感谢！

上海上器（集团）有限公司 总裁



2015 年 4 月 10 日

自序

古人云：“理无专在，而学无止境也，然则问可少耶？”这就是说学问是没有尽头的，学习理应奋进不息。

纵观我的人生，从小入学，读写念书自不待说，在校学习了足足有 17 年之久，出了校门，便是学技术、搞科研，而后又去学经济、抓管理，到了近年，又开始学写作、做文章，其间，还去学过书法、画画、摄影，乃至不断尝试电脑、手机上日新月异的博客、微博和微信等等。这人生一路走来，唯有学习没有中断过，这正应了“学无止境”“活到老、学到老”的古语老话。

学习学问之余，本人又喜好动手写些文字。当年，从事技术工作时写了多篇科技论文，见诸各种专业期刊，近年，又喜欢上了文学写作。如今回过头来一看，若将这些科技性的论文收集起来，或许能对现今的有关专业有所启发，而集合这些文学性的文章，或许人们读了之后会增添些许乐趣。岂料，将这些论文、文章集合之后，竟然也有几十万字之多了。

值此上海电器八十华诞之际，承蒙上器集团总裁郑松华先生看重，给了我一个出书的机会，这本书就命名为《学无止境》。其时，书法家、作家子珂为本书题写了书名“学无止境”四个字。经过半年多的努力，在东华大学出版社的鼎力相助下，《学无止境》如期出版。

在此，谨向上器集团总裁郑松华先生和全体员工和书法家、作家子珂及东华大学出版社表示衷心的感谢！

并以本书书名《学无止境》，与各位读者携手共勉！

黄志方

2015 年 8 月 10 日

目录

科技篇

科技（6篇）

小内径加热线圈的提出 / 2

加热线圈内径计算公式的原理和推导 / 11

加热线圈内径计算公式的应用 / 19

德国硅材料生产技术考察报告 / 25

纯氩气氛下生长直径 70 毫米区熔硅单晶的工艺 / 44

大型碎石矿生产自动化集散控制系统 / 52

管理（3篇）

关于影响单晶硅结构强度诸因素的分析报告 / 61

硅单晶制造和测试技术引进任务书 / 81

德国西门子中压开关技术的市场预测 / 95

专利（1篇）

等离子体废物气化和发电系统的设计 / 101

文学篇

游记（8篇）

欧洲游记 / 108

梵蒂冈 / 罗马 / 佛罗伦萨 / 威尼斯 / 铁力士雪山 / 琉森 / 日内瓦 /

凡尔赛宫 / 罗浮宫 / “老佛爷”百货

普吉岛小记 / 126

济州岛点滴 / 128

景色 / 饮食 / 起居 / 购物 / 人文

大连游记 / 135

启程大连、周水子机场、金鼎大酒店 / 东鸡冠山、旅顺口、旅顺博物馆 / 童牛岭、金石滩、业德工厂 / 星海广场、老虎滩、棒棰岛 / 惜别、返程

泰晤士小镇 / 148

韩湘水博园 / 150

踏青大纵湖 / 152

苏州石湖一日游 / 155

述评（5集）

点评花絮——读《游弋岁月之河》（9篇） / 158

前言 / 读《游弋》第一卷《人生始于游戏》 / 读《游弋》第二卷《人往高处走》 / 读《游弋》第三卷《理想在哪里》 / 读《游弋》第四卷《红色狂飙年代》 / 读《游弋》第五卷《通天河畔戎马生涯》 / 读《游弋》第六卷《寄予一隅》 / 读《游弋》第七卷《学府生涯》 / 读《游弋》第八卷《落叶归根》 / 读《游弋岁月之河》光盘版 / 跋

读慧小札（18篇） / 175

小序 / 江南水乡 / 灵·雨 / 心之灯 / 吟菊 / 心似丝网 / 读解《好想好想谈恋爱，可以吗？》 / 少女与雪花的对话 / 云烟月 / “暧昧”之诠释 / 碾尽一池墨香 / 爱·恋 / 林·海·自然 / 梦龙析 / 读《阿衰不衰》有感 / 闲话印石 / 白领女青睐“灰太狼” / “那个Ta” / 初春的雨

艺术沙龙（7篇） / 209

小序 / 萨尔瓦多·达利其人 / 达利的油画《记忆的永恒》 / 达利的《胜利之象》及其他 / 给人类带来梦幻的达利、爱因斯坦…… / 达利的《抽屉维纳斯》及其他 / 古典名曲《春江花月夜》 / 小提琴协奏曲

《Secret Garden》中的《Track04》

奥运笔札（5篇） / 220

鸟巢 / 水立方 / 开幕式 / 小朋友 / 闭幕式

社情民意（12篇） / 229

小序 / 提请国家高层，管管金融界高管们的高额奖酬 / 有感武汉轨道交通禁食 / 两线并一线 方便去机场 / 关于在上海建立淞沪战役抗日英烈纪念碑的建议 / 英语“淡出”高考，便是高考的改革？ / 请制订有关奖励举报人的法律法规 / 建议上海图书馆广场台阶加装自动扶梯 / 有感武宁路道口搭建的雨棚 / 漫谈复旦大学的庆生日 / 说说“滴滴”打车 / 何不在闸北区建立一个工业博物馆？ / 提请在中方合营者中添加“或个人”三个字

战友情（8篇）

我参加了我国第一颗氢弹试验 / 248

我记忆中的张蕴钰将军 / 252

马兰考证一、二 / 255

战友聚会小记 / 258

参观钱学森图书馆 / 260

黄山游记 / 262

疗养漫记 / 264

庆祝我国第一颗原子弹爆炸成功 50 周年纪念大会 / 266

同学情（5篇）

凡人琐事（节选） / 268

复兴校园 / 高考前后 / 中国科大 / 专业学习 / 昆明湖上 / 毕业分配
宋园聚会 / 276

有朋自远方来 / 278

班上唯一的女生 / 281

宁波、溪口三日游 / 284

故事（3篇）

白狐新传（神话故事）/ 286

对不起，打扰了！（故事）/ 291

莫言（小小说）/ 294

随笔（8篇）

紫色的梦 / 295

怀旧金曲《送别》/ 298

话说上海镇坪路 / 300

也来说说“问题奶粉” / 304

漫话线人 / 306

上海世博会随想曲 / 308

松柏青葱 华夏昌盛 / 310

重庆宋庆龄旧居陈列馆 / 312

诗词（22首）

闲情逸致九首 / 314

同学聚会记 / 闲情 / 秋去 / 腊梅 / 西子湖畔 / 玉兰花之梦 / 秋游 / 雨中情
/ 春节唱和

清明祭祀二首 / 323

悼念张蕴钰将军 / 题汶川大地震一周年

读慧文七首 / 325

吟菊 / 品字 / 赞慧书墨迹 / 灵·雨 / 天净沙·江南 / 灵心 / 聆泉壶

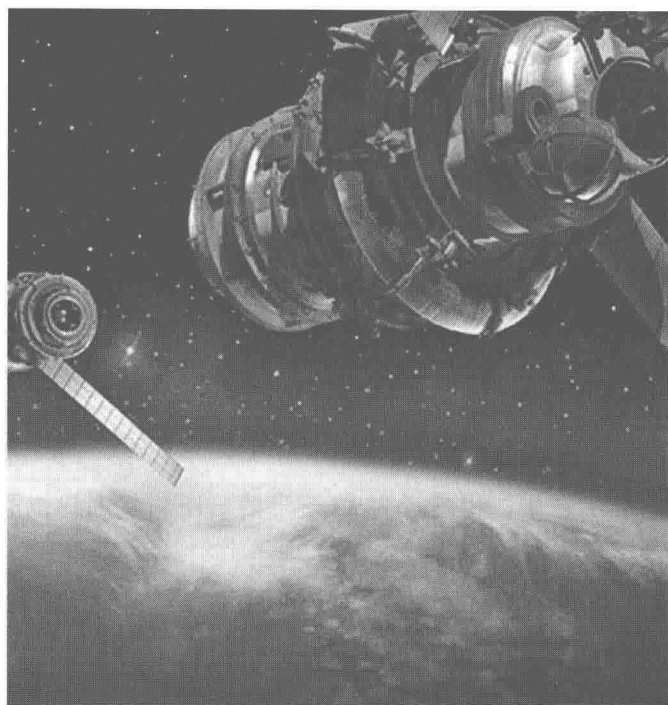
题诸好友四首 / 332

无题 / 逍遥春游 / 赞蓝韵 / 品蓝婷图画《东坡行吟图》

剧本（1篇）

《历史的丰碑》故事梗概 / 336

科技篇



科技(6篇)

小内径加热线圈的提出^{*}

——改善区熔单晶径向电阻率不均匀性的工艺探讨之一

黄志方

摘 要

关于改善区熔硅单晶径向电阻率不均匀性^{**}的工艺报告,共分三篇,即:《小内径加热线圈的提出》、《加热线圈内径计算公式的原理和推导》、《加热线圈内径计算公式的应用》,报告将先后在本刊发表。

本文对1976年1月发表的《提高区熔硅单晶截面电阻率均匀性的工艺探讨》一文^[1],作了必要的修改和补充。介绍了区熔法〈111〉方向N型高电阻率的硅单晶工艺中,采用了小内径加热线圈、低功率、粗腰生长工艺,改善了径向电阻率的不均匀性,并对小内径加热线圈导致径向电阻率不均匀性改善的机理,作了初步的分析。

一、小内径加热线圈的实验

(一)问题的提出

在区熔硅单晶工艺中,用内径为30毫米的三匝扁状加热线圈,直径为30

* 本文发表于《稀有金属》1978年第5期(1978年9月出版)。

** 我国硅单晶的径向电阻率不均匀性的计算方法均为: $\frac{\rho_{\text{最大}} - \rho_{\text{最小}}}{\frac{1}{2}(\rho_{\text{最大}} + \rho_{\text{最小}})} \times 100\%$ 。

毫米的原料，生长直径为 30 毫米的单晶时，晶体的径向电阻率均匀性很差。一九七五年十月上旬，在这种工艺条件下生长了 17 根晶体，从这些晶体得到 34 个径向电阻率不均匀性的数据，现列于表 1。

表 1

晶体编号	径向电阻率 不均匀性%		晶体编号	径向电阻率 不均匀性%	
	a	b		a	b
221001	12.0	43.0	221011	18.7	25.9
221002	16.0	34.1	221013	30.0	26.5
221003	13.2	53.0	221014	24.4	31.5
221004	9.4	21.6	221016	16.3	33.3
221005	13.1	40.0	221018	27.6	34.4
221006	15.0	35.0	221020	33.7	42.6
221007	24.0	44.4	221021	37.4	34.1
221008	14.0	36.0	221022	16.2	37.8
221010	24.0	41.0			

表中 a、b 分别代表该晶体的上、下横截面，工艺参数为：晶体生长速度 5 毫米 / 分，晶体转速为 20 转 / 分。现将表 1 所列数据绘制成图 1，由图 1 可以直观地看到径向电阻率不均匀分布的规律性。

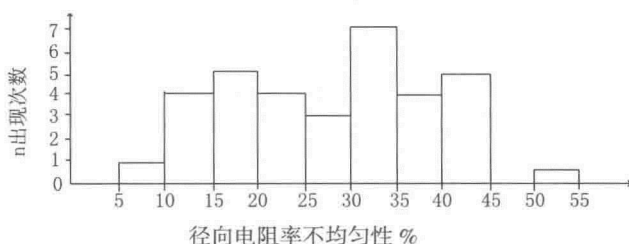


图 1 由表 1 实验数据画成的径向电阻率不均匀性的分布

目前，国内区熔硅单晶径向电阻率不均匀性的工艺指标在 25% 以下。图 1 的数据分布表明，在上述工艺条件下生长的硅单晶，径向电阻率不均匀性一般都在 10% 以上，而不均匀性在 25% 以上的要占 58.8%，绝大多数没有达到工艺指标的要求，以致晶体成品的合格率只有 6.9%。

(二) 小内径加热线圈的实验

通过大量的经验数据的分析,于1975年10月中旬提出采用小内径加热线圈的方法,即采用线圈内径小于原料直径的方法,来改善径向电阻率的不均匀性。设计了内径为27.5毫米的加热线圈,原料直径仍为30毫米,生长了38根直径为30毫米的单晶,得到了76只径向电阻率不均匀性的数据,见表2。

表 2

晶体编号	径向电阻率 不均匀性%		晶体编号	径向电阻率 不均匀性%	
	a	b		a	b
221028	3.2	18.7	221047	2.2	6.5
221029	2.4	8.4	221049	6.2	11.9
221030	1.1	9.0	221050	2.9	6.7
221031	12.0	7.0	221051	8.1	2.6
221032	15.7	4.3	221052	4.0	3.0
221033	20.8	8.3	221053	10.2	11.3
221034	11.8	7.8	221054	10.5	15.0
221035	9.0	8.2	221055	8.1	9.4
221036	5.0	6.4	221056	15.2	10.6
221037	10.5	18.5	221057	6.7	11.2
221038	2.2	10.9	221058	19.6	11.6
221039	9.4	4.4	221059	18.6	4.2
221040	12.5	7.5	221060	6.3	10.6
221041	8.4	18.3	221061	9.9	7.4
221042	5.2	9.2	221062	1.5	7.0
221043	15.3	5.5	221068	11.7	10.4
221044	12.7	7.1	221069	9.3	13.0
221045	11.1	16.0	221070	11.1	9.4
221046	7.1	5.8	221071	2.7	5.5

表中a、b的意义及工艺参数、原料质量均同表1。现将表2数据绘制成图2。

图2表明,采用了小内径加热线圈后,径向电阻率不均匀性得到了改善。不均匀性在20%以上的已被消除,不均匀性在12%以下的占85.6%,其中不均匀性在7%以下的占50.7%,不均匀性在3%以下的良好情况也占16.9%,这是原工艺不能设想的。径向电阻率不均匀性的显著改善,使单晶成品的合格率提高到52.9%,为原来的七倍多。

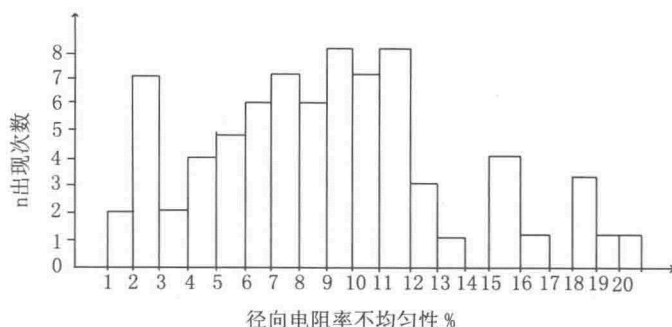


图 2 由表 2 实验数据画成的径向电阻率不均匀性的分布

(三) 讨论

比较内径分别为 33 毫米和 27.5 毫米的加热线圈所耗用的输入功率和熔区形状, 见表 3 及图 3, 发现小内径加热线圈所需的输入功率比较低, 熔区的腰围比较粗, 于是就称此为小内径加热线圈、低功率、粗腰生长工艺。实验证实了这是改善径向电阻率不均匀性的有效途径。

表 3

加热线圈内径 d, 毫米	等径时的阳压 V_a , 千伏	等径时的阳流 I_a , 安培	输入功率 $W_a = V_a \cdot I_a$	熔压高度 h, 毫米	熔区腰围 D_0 , 毫米
33	5.4	1.95	10.5	30	10
27.5	4.2	1.8	7.5	22	20

表 3 为内径分别为 33 毫米、27.5 毫米的加热线圈所耗用的输入功率和熔区尺寸。另外, 表 2 中晶体编号为 2210-28、32、33、37、40、41、43、44、45、54、56、59、69 的共 14 根晶体, 其径向电阻率不均匀性都在 12 以上, 实验中注意到生长这些晶体的熔区腰围大致在 15 毫米左右。而其余 24 根晶体的径向电阻率不均匀性都在 12% 以下, 生长时的熔区腰围大致是 20 毫米左右。这就说明虽然小内径加热线圈为粗腰生长工艺提供了基础, 但还要选用适宜的生长工艺参数, 来能动地实现粗腰, 保证熔区的稳定, 才能使径向电阻率的分布稳定在较好的水平。

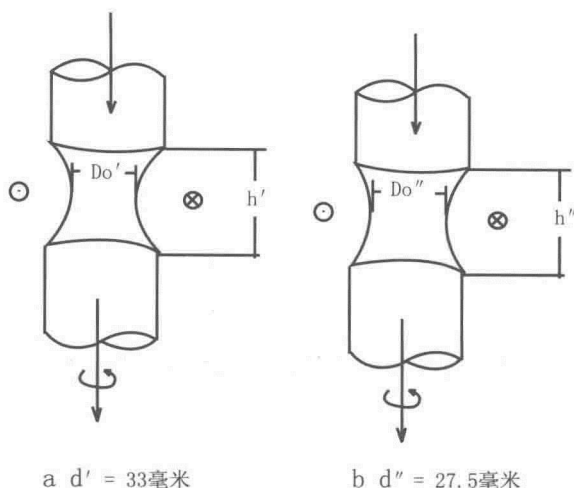


图3 内径为 a) 33 毫米及 b) 27.5 毫米的加热线圈分别在直径为 30 毫米的原料上所建立的熔区形状。图中 h' 、 h'' 分别为熔区的外观高度， $D'o'$ 、 $D'o''$ 分别为熔区的腰围

二、改善径向电阻率不均匀性的机理的初步分析

(一) 可获得比较平坦的结晶界面

大家知道，当加热线圈的内径比原料直径小时，它们之间的电磁耦合程度得到加强，熔透性也比较好，使熔区中部的温度升高，可获得一个比较平坦的结晶界面，而平坦的结晶界面则是径向电阻率均匀分布的重要原因，见图 4、图 5。

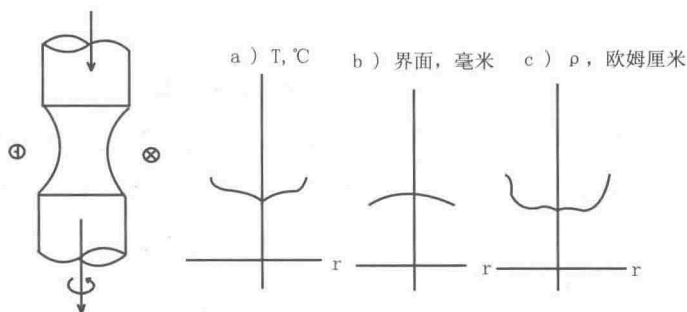


图4 当加热线圈内径大于原料直径时，结晶界面处的：
a) 径向温度梯度；b) 界面形状；c) 径向电阻率分布

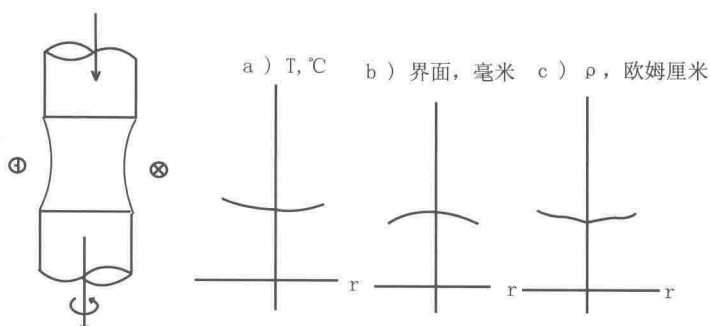


图5 当加热线圈内径小于原料直径时，结晶界面处的：
a) 径向温度梯度；b) 界面形状；c) 径向电阻率分布

从图4可知，当加热线圈内径大于原料直径时，熔区腰围比较细，温度分布是中间低，存在所谓的温度谷点，界面形状凸向熔区，于是造成中心的电阻率很低、边缘的电阻率很高的情况，径向电阻率的分布很不均匀。

从图5可知，当加热线圈内径小于原料直径时，熔区比较窄，腰围比较粗，熔透性比较好，使得中部的温度上升，消除了温度谷点，径向温度梯度趋于零，结晶界面比较平坦，而使得径向电阻率的分布比较均匀。

当然，线圈的内径也不能无限制地小，因为目的是使凸向熔区的结晶界面变得平坦，而不需要成为凹向熔区，而且，过分小，使熔区的粗腰也受到限制，还会引起高频感应加热设备的停振。

(二) 电磁搅拌效应发挥得比较充分

如上所述，小内径加热线圈使耦合程度改善了，熔区中的涡流也将得到加强，而涡流得以存在，是由于熔硅中自由电子运动的结果，所以，涡流的加强，实际上也是加强了熔硅中杂质的搅拌，而充分发挥这种电磁搅拌的作用，正是改善径向电阻率不均匀性的一个重要方面。

三、关于籽晶偏度的选择

应该指出，表1、表2所进行的实验，选用的籽晶方向一般都偏离〈111〉晶向约 $6^{\circ}\sim 8^{\circ}$ ，这种偏度较大的籽晶，在某种条件下，对改善径向电阻率的不均匀性，

也有一定的作用^[2]。

为了证实本文实验中，径向电阻率不均匀性的改善是由于小内径加热线圈的作用，而不是由于籽晶偏度较大所造成，又进行了偏离〈111〉晶向为 $15^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 的籽晶，即所谓小偏度籽晶的实验。

在各种小内径加热线圈中，选用小偏度籽晶，生长了21根晶体，得到了54只径向电阻率不均匀性的数据，现列于表4至表7。

表 4

晶体编号	籽晶偏度 $^{\circ}$	不同截面上径向电阻率不均匀性%
211130	4.5°	9.2, 6.6, 11.7
211131	4.5°	16.8, 12.2
211132	4.5°	8.9, 9.8
211133	4.5°	12.0, 15.9, 2.4
211134	4.5°	3.5, 12.5

表4为在线圈内径为27.5毫米，原料直径为30毫米，晶体生长速度为5毫米/分，晶体转速为20转/分时，小偏度籽晶的实验数据。

表 5

晶体编号	籽晶偏度 $^{\circ}$	不同截面上径向电阻率不均匀性%
240932	1.5°	3.3, 15.2, 12.6
241043	1.5°	13.6, 11.3, 3.8
241102	1.5°	8.3, 9.5
241129	3°	9.7, 12.1, 9.8, 3.8, 4.1
241130	3°	11.8, 6.1
241131	3°	7.5, 2.2, 7.6
241133	3°	14.0, 18.8, 1.6, 2.5
241135	3°	1.9, 3.7, 4.6
241108	4°	10.0, 2.6

表5为在线圈内径为32毫米，原料直径为38毫米，晶体生长速度为4毫米/分，晶体转速为20转/分时，小偏度籽晶的实验数据。