

解决芯片技术卡脖子的问题,应从高中物理教学抓起 ——基于中美高中物理教材中“固态电子学”知识的比较

黄雨竹 黄致新

(华中师范大学物理科学与技术学院,湖北 武汉 430079)

摘要 中美贸易摩擦背景下,芯片技术卡脖子问题引发了教育界对科技创新人才培养的思考。本文从“卡脖子”问题出发,分析比较了中、美高中物理主流教科书中有关“固态电子学”相关知识的分布情况、主要内容和学习要求的差异情况。分析结果表明:中国高中物理教材中涉及的“固态电子学”知识主要以科普应用为主,整体分布较为零散,要求掌握程度较低;而美国高中物理教材中所涉及的“固态电子学”知识则包含更多与能带理论和半导体物理相关的理论知识,有利于为学生未来学习“固态电子学”、从事芯片研发行业打下一定基础。基于此,建议高中物理教材编写增加部分固体物理基础理论知识,建议师范院校人才培养应将“固体物理”设为必修课程。

关键词 中美教材比较;芯片技术卡脖子问题;高中物理

STARTING FROM PHYSICS TEACHING IN HIGH SCHOOL TO SOLVE THE BOTTLENECK OF CHIP TECHNOLOGY —BASED ON THE COMPARISON OF “SOLID-STATE ELECTRONICS” KNOWLEDGE IN CHINESE AND AMERICAN HIGH SCHOOL PHYSICS TEXTBOOKS

HUANG Yuzhu HUANG Zhixin

(School of Physical Science and Technology, Central China Normal University, Wuhan, Hubei 430079)

Abstract Under the background of Sino-US trade frictions, the bottleneck of chip technology has triggered the thinking of the education sector on the cultivation of scientific and technological innovation talents. Starting from the “bottleneck” problem, this paper analyzes and compares the distribution, main content and learning requirements of “solid-state electronics” related knowledge in mainstream physics textbooks in Chinese and American high schools. The results show that the knowledge of “solid state electronics” involved in Chinese high school physics textbooks is mainly based on the application of science popularization, with scattered distribution and low requirement. The knowledge of “solid-state electronics” involved in American high school physics textbooks contains more theoretical knowledge related to band theory and semiconductor physics, which is conducive to laying a certain foundation for students to learn “solid-state electronics” and engage in chip research and development industry in the future. Based on this, it is suggested that the preparation of high school physics textbooks should increase some basic theoretical knowledge of solid physics, and “solid phys-

收稿日期: 2022-12-02

基金项目: 本文系华中师范大学社科项目“中学生物理学习能力提升机制及相关教学资源开发研究”(课题批准号:20202198092)的阶段性成果。

作者简介: 黄致新,男,教授,主要研究方向:物理教育研究和物理教师教育研究,1400394600@qq.com。

引文格式: 黄雨竹,黄致新. 解决芯片技术卡脖子的问题,应从高中物理教学抓起——基于中美高中物理教材中“固态电子学”知识的比较[J]. 物理与工程,2023,33(2):18-23.

Cite this article: HUANG Y Z, HUANG Z X. Starting from physics teaching in high school to solve the bottleneck of chip technology—Based on the comparison of “solid-state electronics” knowledge in Chinese and American high school physics textbooks[J]. Physics and Engineering, 2023, 33(2): 18-23. (in Chinese)

ics" should be set as a compulsory course for talent training in normal colleges.

Key words comparison of Chinese and American textbooks; bottleneck of chip technology; high school physics

1 什么是芯片技术卡脖子问题

21 世纪以来,随着我国科技、经济的飞速发展,美国为了压制我国的复兴,对中国展开技术封锁。在此背景下,《科技日报》首版头条推出“亟待攻克的核心技术”专栏,开篇以“是什么卡了我们的脖子”为引题,共报道了 35 项“卡脖子”技术^[1]。此后,研究者们常用“卡脖子问题”代指与技术强国相比我国所面临的核心技术瓶颈问题,其大多具有攻克难度较大、垄断性强和技术壁垒高的特点。在“卡脖子问题”中最迫切需要解决的就是芯片技术卡脖子问题。2018 年到 2019 年两年间,美国限制我国中兴和华为两大科技公司购买其“敏感”产品,其中涉及最多的就是芯片相关技术。美国对我国芯片行业的技术封锁,导致很多计算机、手机等高科技产品无法正常生产,直接威胁到了我国科技企业的正常发展,给我国造成了严重的经济损失,芯片技术卡脖子问题成为亟须解决的热点问题^[2]。

芯片技术卡脖子问题的背后,是我国科技研发不独立、基础研究人才缺乏的问题。长期以来,研发人员用技术集成回避关键技术的开发,导致我国基础研究不够深入,科技研发长期依赖于他国的核心技术。要解决芯片技术卡脖子问题,就需要培养出一批拥有基础研究能力、创新能力的人才,从根本上实现核心技术自主化,打破西方技术霸权^[3]。高中物理是理工科专业学习的基础课程,要培养研究型人才,就需要从高中就打好基础。作为知识载体的教材更是教师开展教学基本工具,所以从“卡脖子”问题出发,研究比较中美高中物理教材的异同,取其精华,去其糟粕,借鉴美国高中物理教材中的优势之处,补足我国高中物理教材的不足,显得尤为重要。

2 中美高中物理教材中“固态电子学”内容的比较分析

以往的高中物理教材比较研究主要分为两大类,一类是从不同视角(如从核心素养视角、科学

思维视角或 STSE 视角等)比较教材整体的内容结构、栏目设置^[4]、呈现方式等特点。另一类是详细对教材中某一特殊板块的内容(如电学、力学、科学史、学科交叉渗透内容或近代物理等)做比较^[5]。在以往的研究中,有不少研究者虽然已经发现我国高中物理教材与国外(美国、英国和日本等)相比,缺少“固态电子学”部分的知识,但是并没有研究者对“固态电子学”内容进行深入分析。很明显,在教材比较研究中,“固态电子学”板块的内容分析严重缺失。

美国高中物理教材中“固态电子学”章节讲了哪些内容?我国高中物理教材中是否有涉及“固态电子学”相关知识?如果有,我国高中物理教材中的“固态电子学”相关内容与美国教材中的“固态电子学”相关内容有何差异?这些差异是否有可能影响我国科技创新人才的培养?这些问题都值得进一步深挖。笔者分别对中国《普通高中物理教科书(人教版)》(2019 年版)^[6]和美国最常用的高中物理教科书《物理原理与问题》^[7]中“固态电子学”相关内容进行比较,探寻中美教材中“固态电子学”相关内容的差异,明确我国教材的优势与不足,从解决芯片技术“卡脖子”问题的角度为教材编写和人才培养提出建议。

2.1 美国高中物理教材“固态电子学”章节主要内容

如图 1 所示,美国物理教材“固态电子学”章节分成两大板块编写,第一部分讲固体是如何导电的。教材通过回忆晶体排列和原子能级等知识,引出能带理论,并从能带理论的角度重新区分导体、绝缘体和半导体。接着,通过介绍本征半导体的局限性,引入掺杂工艺,介绍 p 型半导体和 n 型半导体的制作原理和特性。第二部分讲电子元件,从生活中常用的电子器件引入,介绍了最基本、最简单的两个半导体器件(半导体二极管和半导体三极管)的基本组成、制作原理和作用。最后,介绍了由导体、半导体、二极管和三极管等集成的微型芯片的制作工艺,并介绍了微型芯片在生活中的广泛应用。整个章节的编排逻辑层层递进,从基础理论引入,到生产应用结束。

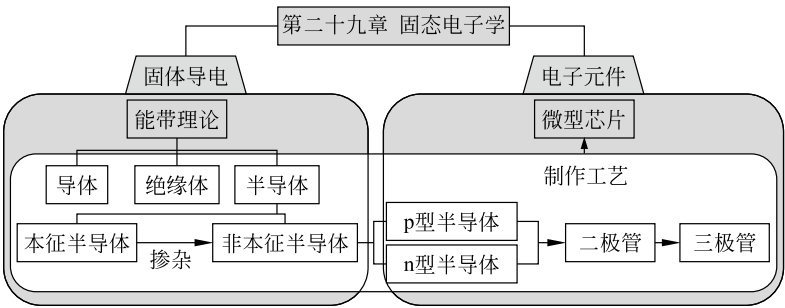


图 1 美国高中物理教材“固态电子学”章节主要内容

2.2 中美高中物理教材中“固态电子学”相关知识比较

中国高中物理教材中虽然没有专设一章讲“固态电子学”，但在各本书中均有相关知识点涉

及。所以笔者进一步整体比较了中美教材中与“固态电子学”相关的知识内容的分布、主要知识点和要求掌握程度^[8]，绘制出了如下表格(见表 1、表 2)。

表 1 中国高中物理教材中的“固态电子学”知识

位置	内容	要求程度
必修一 序言	概述了对固体中电子的研究促进了半导体工业的发展,使得人们能够制造半导体芯片。	无要求
必修三 p3(旁批)	简要介绍了金属微观结构模型,并指明这个模型是一个可以解释与金属导电有关现象的简化描述,未讲明绝缘体和金属微观本质的区别。	无要求
必修三 p21(正文)	在介绍静电吸附的应用时,由于静电复印机中用到了有机光导体,所以简要介绍了有机光导体的特性。	了解
必修三 p55(拓展学习)	介绍了导体中的自由电子运动是无规则热运动和静电力作用的合运动,电流大小与电子定向移动的平均速率大小有关。在开关闭合瞬间,电路中各位置以光速建立电场,形成电流。	无要求
必修三 p59(正文)	有些合金电阻率几乎不受温度的影响,很多金属的电阻率随温度变化而变化。	了解
必修三 p60(正文)	简单介绍了什么是超导现象。	无要求
必修三 p60(拓展学习)	简单介绍了线系元件和非线性元件,并对比了导体和晶体二极管伏安特性曲线的区别。	了解
选择性必修一 p100(科学漫步)	简单介绍了利用 X 射线衍射探测晶体结构的方法,以及 X 射线衍射技术的应用成果。	无要求
选择性必修二 p95(正文)	介绍了硫化镉是一种半导体材料被光照射后载流子数目会发生改变,从而影响其导电性,并介绍了光敏电阻的应用。	了解
选择性必修二 p96(正文)	介绍了热敏电阻的特性及其应用。	了解
选择性必修二 p97(正文)	介绍了半导体电阻应变片利用了半导体材料的压阻效应,并介绍了其应用。	了解
选择性必修二 p99(拓展学习)	介绍了霍尔效应和霍尔元件,并介绍了其应用。	了解
选择性必修二 p103(正文)	介绍了发光二极管具有单向导电性,晶体三极管具有发大电流的作用。	无要求
选择性必修三 p2(脚注)	展示了石墨表面原子照片并在脚注中介绍了扫描隧道显微镜。	无要求
选择性必修三 p31(正文)	介绍了晶体和非晶体的区别和晶体的微观结构。	了解
选择性必修三 p96(正文)	介绍了人们在量子力学的基础上了解了固体中电子运行的规律,并弄清了为什么固体有导体、绝缘体和半导体之分。	了解

表 2 美国高中物理教材中的“固态电子学”知识

位置	内容	要求程度
(第十三章 p415)	介绍了晶体和非晶体的区别,讲明了固体内的原子因内聚力保持在一定位置上,但会围绕固定位置不停振动。	理解
(第十三章 p417)	在讲解固体热膨胀的原因时,将固体比作弹簧连接分子的集合,弹簧代表分子间的吸引力。当固体加热时,动能增加,振动加快,分子间距增大。	理解
(第二十章 p628)	从电子运动难易程度的角度介绍了绝缘体和导体的区别,并通过金刚石和石墨的例子介绍了物体的导电性会随存在形态而改变。	了解
(第二十一章 p695)	介绍了超导体的特性和应用。	了解
(第二十九章 p890)	固体的能带理论:固态晶体内部,原子能级受邻近原子电场的影响,分裂成了多个能级,而由于能级数量非常多,所以可将其看做能带,并由此分出了固体的价带、导带和禁带,禁带越小,导电性能越好。	理解
(第二十九章 p892)	导体和绝缘体:从能带理论的角度重新区分导体和绝缘体,并简单介绍了电子气模型。	理解
(第二十九章 p894)	半导体:导电性能介于绝缘体和导体之间,禁带宽度接近 1eV,并在此基础上介绍了本征半导体。	理解
(第二十九章 p895)	掺杂半导体:介绍了 p 型半导体和 n 型半导体的制作原理和特性。并在此基础上介绍了半导体掺杂的工艺流程。	理解
(第二十九章 p898)	半导体元件的应用:介绍了热敏电阻和光敏半导体对温度和光敏感的原因,并科普了它们在科技上的应用。	了解
(第二十九章 p899)	固态电子学的创建:介绍了固态电子学的创建历史,从历史上真空管的不足引出了体积更小、能耗更少、成本更低的半导体器件的发明,并结合智能手机、电脑等产品,介绍了集成电路中半导体器件的重要性。	了解
(第二十九章 p900)	二极管:介绍了二极管的形成原理、基本结构和特性,在此基础上介绍了其整流的作用、发光二极管的原理和二极管激光器的应用。	理解
(第二十九章 p903)	三极管:介绍了三极管的形成原理、基本结构和放大电流的特性。	理解
(第二十九章 p904)	集成电路:科普了微型芯片的制作流程,以及其体积小、耗能低和运算速率快的特点。并强调了半导体电子学的发展离不开物理学家、化学家和工程师的共同协作。	了解

通过对比两国教材中所涉及的“固态电子学”知识,笔者发现我国教材中涉及的固态电子学知识具有科普应用知识多、位置分布零散和要求掌握的程度低的特点。

首先,与美国教材相比,我国教材中“固态电子学”的科普应用知识更多。我国教材对固态电子学相关知识的介绍大部分都是以渗透应用的形式,比如在介绍静电吸附的应用时,由于静电复印机中用到了有机光导体,所以渗透有机光导体的特性;在讲授光的衍射时,简单介绍了利用 X 射线衍射探测晶体结构的方法,以及 X 射线衍射技术的应用成果。美国教材中所涉及的固态电子学知

识则是理论更多。比如在讲解固体热膨胀的原因时,美国教材中将固体比作弹簧连接分子的集合,弹簧代表分子间的吸引力。当固体加热时,动能增加,振动加快,分子间距增大,这一比喻渗透了固体物理晶格动力学的假设。

其次,与美国教材相比,我国教材中固态电子学的知识分布更零散,在“序言”“正文”“旁批”“科学漫步”“拓展学习”和“脚注”各个栏目中都有分布。而美国教材中的固态电子学知识则较为集中,大部分内容分布在“第二十九章 固态电子学”部分,知识点出现的位置均在教材正文部分。

最后,与美国教材相比,我国教材中固态电子

学知识要求掌握的程度更低,深度不够。由于教材中大部分固态电子学知识都是以渗透应用的形式出现,很多内容都分布在“拓展应用”和“科学漫步”等要求掌握程度较低的栏目,新课标对这些知识点的要求程度都在“了解”或“无要求”程度,且与美国教材相比,知识深度较低。比如在必修三中,我国教材介绍了金属微观结构模型能解释与金属导电有关现象,但其未具体讲明绝缘体和金属电子运动难易程度差异的原因。而美国教材则在第二十章从电子运动难易程度的角度介绍了绝缘体和导体的区别,并通过金刚石和石墨的例子介绍了物体的导电性会随着存在形态改变,让学生理解了物质的导电性是可变的。接着在第二十九章,从能带理论的角度重新介绍导体、绝缘体和半导体能带结构上的区别,让学生从根本上上理解影响物质导电性的原因是物质的组成和结构,有利于学生建立正确的物质观。

3 建议

基于上述比较,笔者从解决芯片技术卡脖子问题的角度提出以下建议。

1) 借鉴美国教材,在高中物理教材中增加“固态电子学”基础理论知识

“固体物理”作为材料科学研究和发展的根基,推动了半导体、超导、激光、纳米材料等领域的发展^[9]。一直以来,固体物理都是理工科学生的基础前置课程,其对于培养研究型、创新型人才是至关重要的。尽管“固体物理”如此重要,但是其一直以“难学”著称。笔者认为有两大原因,第一,“固体物理”是以量子力学和统计物理为基础建立起来的,课程本身的难度就很大。许多同学量子力学统计物理都学不好,更遑论固体物理。第二,从认知的角度看,知识的学习是螺旋式的,人们总是更容易接受一些熟悉的知识。我国高中物理中的“固态电子学”知识多为科普应用知识,缺乏理论知识,深度较浅,这直接导致了学生对“固体物理”的基本认识和兴趣的缺乏,影响对技术人才的初期引导和培养。

美国教材中“固态电子学”章节是大学的“固体物理”课程的先导性知识,虽然不涉及很多复杂的运算,但却可以让学生了解固体物理的核心——能带理论,让学生分别从宏观角度和微观角度了解影响物体导电性能的因素,为学生搭建

一个新的物质观。此外,教材还介绍了非本征半导体、半导体器件和微型芯片的制作原理、工艺流程和特性,并结合智能手机、电脑等产品,介绍了集成电路中半导体器件的重要性。这些内容有利于帮助学生了解半导体器件、微型芯片的制作过程,拓宽学生的知识面,为学生未来学习电子学知识打下基础。正如朱邦芬教授在其文章所说,中学物理知识不系统、不完整会导致高中物理学科体系的“碎片化”和中学生物理学科知识的结构性欠缺^[10]。所以笔者认为借鉴美国教材,在高中物理教材中增加“固态电子学”基础理论知识对解决我国芯片技术卡脖子问题,培养科研人才是很有必要的。

2) 建议师范院校将“固体物理”课程设为必修

笔者统计了校友排名靠前的20所师范大学的物理师范专业人才培养方案,发现虽然所有高校都开设了“固体物理”这门课程,但有近40%的院校未将“固体物理”设为必修课程。由于“固体物理”课程难度较大,令人望而生畏,因此大部分师范生并不会主动选修“固体物理”,这会导致很多高中物理老师自身就缺乏对“固体物理”基本认识。我国现在使用的高中物理教材中还有部分与“固体物理”相关的知识,比如压电效应、X射线衍射、扫描隧道显微镜等^[11]。如果教师没有学习过“固体物理”,自然也无法给学生讲好这部分内容。“固体物理”不仅是对大学物理知识的拓展与升华,而且能够开拓教师的眼界,增强教师遇到问题解决问题的能力,所以笔者建议师范院校将“固体物理”课程设为必修。

4 结语

通过教材比较可以发现,我国教材中涉及固态电子学的科普应用知识较多,渗透了相关科技前沿和应用,有利于拓宽学生的知识面,激发学生学习物理的兴趣。但其中理论知识较少,深度较为缺乏,新课标对这部分内容的要求也停留在了解程度,对学生未来学习固体物理相关理论知识帮助不大。美国教材中固态电子学知识则更为集中且深入,既有利于学生了解电子技术行业,培养学生对此行业的兴趣,又降低了大学学习理工科相关知识的难度。笔者建议借鉴美国教材,在高中物理教材中增加“固态电子学”基础理论知识,

将师范院校的“固体物理”课程设为必修,从学生培养和老师培养两个方面改进现有物理教育,为解决芯片技术卡脖子问题打好基础。

参 考 文 献

- [1] 夏清华,乐毅.“卡脖子”技术究竟属于基础研究还是应用研究[J].科技中国,2020,25(10):15-19.
XIA Q H, LEY. Whether “neck-jamming” technology belongs to basic research or applied research[J]. Science and Technology in China, 2020, 25(10): 15-19. (in Chinese)
- [2] 郑永和. 重视基础教育拔尖人才培养,解决我国“卡脖子”问题[J]. 科学与社会, 2020, 10(4): 22-24.
ZHEN Y H. Attach importance to the training of top-notch talents in basic education and solve the problem of “neck jam” in China[J]. Science and Society, 2020, 10(4): 22-24. (in Chinese)
- [3] 杨柳春,赵军,刘天星. 高福:释放创造力解决“卡脖子”与“卡脖子”问题[J]. 中国科学院院刊, 2019, 34(5): 597-602.
YANG L C, ZHAO J, LIU T X. GaoFu: Release your creativity to solve the “neck jam” and “brain jam” problems [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2019, 34(5): 597-602. (in Chinese)
- [4] 沈国强. 中美两套高中物理教材栏目设置的比较研究[J]. 物理教师, 2010, 31(6): 27-28.
SHEN G Q. A Comparative study on the column setup of high school physics textbooks in China and the United States [J]. Physics Teacher, 2010, 31(6): 27-28. (in Chinese)
- [5] 王祥委,段娟娟,彭朝阳. 中美高中物理教材物理学史呈现

比较研究[J]. 物理教师, 2017, 38(10): 74-76.

- WANG X W, DUAN J J, PENG C Y. Comparative study on the presentation of physics history in Chinese and American high school physics textbooks[J]. Physics Teacher, 2017, 38(10): 74-76. (in Chinese)
- [6] 课程教材研究所,物理课程教材研发中心. 普通高中教科书物理[M]. 北京:人民教育出版社,2019.
- [7] 齐泽维茨. 物理原理与问题[M]. 2版. 杭州:浙江教育出版社,2018.
- [8] 中华人民共和国教育部制定. 普通高中物理课程标准(2017年版)[S]. 北京:人民教育出版社,2018.
- [9] 苟清泉. 固体物理学的主要成就与发展方向[J]. 自然杂志, 1978, 1(5): 281-283.
GOU Q Q. Main achievements and development directions of solid state physics[J]. Chinese Journal of Nature, 1978, 1(5): 281-283. (in Chinese)
- [10] 朱邦芬.“减负”误区及我国科学教育面临的挑战[J]. 物理与工程, 2016, 26(4): 3-6, 17.
ZHU B F. The Misunderstanding of “reducing burden” and the challenges faced by science education in China [J]. Physics and Engineering, 2016, 26(4): 3-6, 17. (in Chinese)
- [11] 赵承祥,杨虎. 教育新形势下对固体物理教学的思考[J]. 当代教育实践与教学研究, 2019, 7(19): 45-46.
ZHAO C X, YANG H. Reflections on the teaching of solid state physics in the new educational situation [J]. Contemporary Education Research and Teaching Practice, 2019, 7(19): 45-46. (in Chinese)

(上接第 17 页)

小球问题与朗道相变做类比, B. 8 在 B. 4 基础上计算振荡频率, 考察微分计算, B. 9 依据 B. 8 作图。C 部分是考虑摩擦力时平衡角度的系列计算。

中国队选手在此试题的作答中大部分题目均能拿到满分, 尤其是 B. 1、B. 4、B. 5 和 B. 8 这几个涉及解方程和微积分计算的问题, 全员满分, 这体现了中国选手们较强的计算能力。但 B. 6 失分最多, B. 9 次之, 主要失分于作图不规范、图像中的特征点和线缺少必要的标注说明、图像绘制不完整、未考虑角度为负的情况等。其他的失分因素包括 A. 1 径向力动力学方程中没有考虑到径向加速度、B. 2 没有画出平衡角度取负值的情况以及其他失误。

4 结语

本届亚洲物理奥林匹克竞赛的理论试题具有丰富的物理背景, 并与具体物理图像相结合。该

题从模型建立到求解计算, 再到作图分析, 对选手进行了多方面的考查。本届物理奥赛对大学物理及大学物理实验的教学均有一定的借鉴作用。

致谢: 感谢协助试题翻译、备赛的王烁皓、胡凌等南开大学本科志愿者! 感谢参与本次奥赛培训、选拔与远程考试的各位老师! 感谢中国科学技术协会、中国物理学会、天津市物理学会等单位 and 部门对赛事的支持!

参 考 文 献

- [1] Problems and solutions for the 22nd Asian Physics Olympiad: <https://apho2022.in/questions-and-solutions/>
- [2] LANDAU L D, LIFSHITZ E M. Statistical Physics[M]. 3rd ed. Translated by J. B. Sykes and M. J. Kearsley, Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann, 1980.
- [3] 赵凯华, 罗蔚茵. 新概念物理教程热学[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2005.
- [4] IYPT: <https://www.iypt.org/>