

# 活到老 学到老 做到老

## ——纪念黄昆先生逝世十一周年

夏建白<sup>†</sup>

(中国科学院半导体研究所 半导体超晶格国家重点实验室 北京 100083)

2016-09-28收到

<sup>†</sup> email: xiajb@semi.ac.cn

DOI: 10.7693/wl20161109

黄昆先生是2005年7月6日逝世的,至今已经11周年了。他一直活在我的记忆中。又逢教师节,我赶写几个片段,寄托对导师的思念、感恩之情。

1970年,江崎(Leo Esaki)和朱兆祥(Ray Tsu)在寻找具有负微分电阻的新器件时,提出了一个全新的革命性概念——半导体超晶格。两种不同禁带宽度的半导体交替生长组成超晶格时,由于相邻层能带之间的相互作用,电子在生长方向( $z$ 方向)上的连续能带将分裂成几个微

带(miniband):

$$E_n(k) = E_{n0} - \frac{\Delta}{2} \cos kd,$$

其中 $d$ 是超晶格周期, $k$ 是沿 $z$ 方向的波矢分量,被限制在布里渊区内( $-\pi/d \leq k \leq \pi/d$ ), $\Delta$ 是微带宽度。

可以证明,在布里渊区的中心( $k=0$ ),电子具有正有效质量;而在布里渊区边缘( $k=\pm\pi/d$ ),电子则具有负有效质量。在体材料中,由于晶格常数 $a \ll d$ ,布里渊区 $\pi/a$ 远大于超晶格在 $z$ 方向的布里渊区 $\pi/d$ 。在外电场下,电子只能偏离原来的平衡分布(玻尔兹曼分布),无法到达布里渊区边缘。而在超晶格中,只要弛豫时间 $\tau$ 足够长,沿 $z$ 方向的电场就能将电子驱动到布里渊区边缘,此时,电子的有效质量为负,从理论上预言将出现负阻现象。此外,电子还有可能在实空间中来回振荡,称为布洛赫振荡。

然而,直到20年后(1990年前后),江、朱二人的预言才在实验上得以证实。早期的实验结果只观察到电流—电场的非线性变化,以及电流随着电场增加而趋于饱和;到1992年以后,才正式确立了负阻效应。

对此,黄昆先生从1990年起开始查阅相关文献,包括早期(1990年以前)的实验工作、雷啸霖和其他人的理论工作,详细地做了关于超晶格微带运输的笔记。在这基础上,他和朱邦芬采用弛豫时间近似理

论,全面、系统地研究了超晶格微带输运理论,解释了一系列负阻实验结果,整理发表: Temperature Dependence of the Low-field Mobility of Miniband Conduction in Superlattices, K. Huang, B. F. Zhu, *Phys. Rev. B*, 1992, 45: 14404。

黄昆先生除了承担必要的行政职务(如1977—1983年担任中国科学院半导体研究所所长)和参加一些必要的社会活动以外,他把一生中大部分精力都投入到研究和教学中。1983年以后,他主要从事半导体超晶格的理论研究。在黄先生的倡导和带领下,成立了半导体超晶格国家重点实验室,涌现出一批较为优秀的实验和理论研究人才,在国际上发表了一系列高水平的学术论文,开创了超晶格室的黄金时代。半导体超晶格不仅对于我们,而且对黄昆先生来说也是一个全新的领域。他亲力亲为,从头学起,认真读文献、做笔记、推公式,包括撰写和修改论文。唯一遗憾的是,黄昆先生不擅长数值计算,公式推到一定程度,往往只能由朱邦芬、顾宗权、我或其他人帮他算出最终结果,这在某种程度上影响了他对问题的深入了解。

这一期间,黄昆先生最著名的工作是他和朱邦芬合作的“黄—朱模型”。此外,他还做了许多其他方面的工作,比如他和我合作发表的论文有:



黄昆先生给超晶格室做题为《超晶格中超越势垒和微带中的两类态》的学术报告

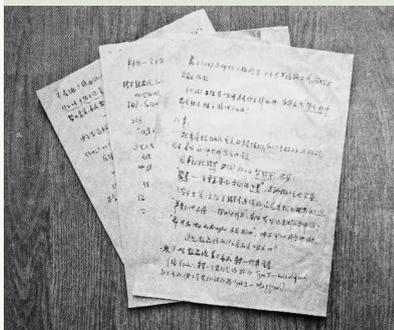


图2 黄昆先生的手稿(1986年)

Subbands and Optical Transitions in One-dimensional Superlattices, J. B. Xia and K. Huang, *Chinese J. Semicond.*, 1987, 8: 563.

Subbands and Optical Transitions of Superlattices in Electric Field, J.B. Xia and K.Huang, *Acta Physica Sinica*, 1988, 37: 1.

Hole Subbands in Quantum Wells and Superlattices, K. Huang, J.B. Xia, B. F. Zhu and H. Tang, *J. Luminescence*, 1988, 40/41: 88.

Semiclassical and Envelope-Function Treatment of Magnetic Levels in Superlattices under an In-Plane Magnetic Field, J. B. Xia and K. Huang, *Phys. Rev. B*, 1990, 42: 11884.

Wannier Quantization of a Superlattice Subband under Electric Field, J. B. Xia and K. Huang, *J. Phys. C*, 1991, 3: 4639.

这些工作反映出黄昆先生对问题深刻的物理洞悉和预见,对深入理解半导体超晶格物理具有重要意义。这也构成了日后我和朱邦芬合著《半导体超晶格物理》<sup>1)</sup>的基础。



黄昆先生与学生们(左起:黄昆、顾宗权、夏建白、朱邦芬)

纵观黄昆先生的科学人生,真正做到了“活到老,学到老,做到老”,倾其一生在科学研究和培养学生的事业上。我们要学习他这种“白首穷经,永不懈怠”的精神。黄先生晚年罹患帕金森症,不仅要忍受身体上的痛苦,精神上更是备受折磨,很不愉快,究其原因,最主要的就是不能再从事他热爱的研究工作。

最后,引用黄昆先生在《半导体超晶格物理》序言中的一段话,

作为对我们后辈人的鼓励:

“本书的两位作者是我近年来在超晶格物理研究中的密切合作者。他们工作在超晶格微结构国家重点实验室和国家自然科学基金重点支持项目的学术集体之中,并在相当广泛的基础性课题上进行了卓有成效的研究。正是由于有这样的背景,使他们在较短的时间中比较成功地完成了本书的写作。”

缅怀恩师黄昆先生。是为念。

1) 夏建白,朱邦芬. 半导体超晶格物理. 上海:上海科学技术出版社,1995

## 读者和编者

### 订阅《物理》得好礼

——超值回馈《岁月留痕——<物理>四十年集萃》

部特推出优惠订阅活动:向编辑部连续订阅2年《物理》杂志,将获赠《岁月留痕——<物理>四十年集萃》一本(该书收录了从1972年到2012年在《物理》发表的40篇文章,476页精美印刷,定价68元,值得收藏)。

希望读者们爱上《物理》!

为答谢广大读者长期以来的关爱和支持,《物理》编辑

订阅方式(编辑部直接订阅优惠价180元/年)

#### (1) 邮局汇款

收款人地址:北京603信箱,100190

收款人姓名:《物理》编辑部

#### (2) 银行汇款

开户行:农行北京科院南路支行

户名:中国科学院物理研究所

帐号:112 501 010 400 056 99

(请注明《物理》编辑部)

咨询电话:010-82649266; 82649277

Email: physics@iphy.ac.cn