

夏建白

(1939—)



夏建白，半导体物理学家，中国科学院院士。长期从事半导体和半导体超晶格、微结构理论研究。首次提出了量子球空穴态的张量模型、介观系统的一维量子波导理论、(11N) 取向衬底生长超晶格的有效质量理论、半导体双势垒结构的空穴隧穿理论，以及计算超晶格电子结构的有限平面波展开方法等。撰写了《现代半导体物理》等专著。

夏建白 1939 年 7 月 5 日出生于上海一个银行职员的家庭，祖籍江苏苏州。家中有 4 个子女，就靠父亲一个人的工资生活，经济情况比较艰苦。小时候正是抗日战争时期，随父母由香港经广西、贵州逃难到重庆。途中历经艰难，为了保住他，不得不将他的弟弟留在了路上。这件事以后在他父母心上留下很大的创伤，因而更关爱他。

1950 年夏建白从位育小学（现襄阳南路小学）毕业，可以直升位育中学。位育中学是一所很好的中学，但是私立的，学费

很贵，家里负担不起。于是他报考了公立市西中学，结果以第一名的成绩被录取。从此他和他的姐姐享受了新中国的义务教育待遇，不用交学费，一直上到了大学毕业。

中学教育对他以后的成长打下了很好的基础。当时中学里的老师都具有很高的水平和教育经验，实行的是素质教育，注重培养德智体全面发展的人才。上课讲得非常清楚，下课留的作业又不多。1956年（高三时）他参加了上海市举办的第一届数学竞赛，得到了全市数学竞赛的第5名（一共取20名）。中学里他语文学得也不错。此外他对地理、历史、英文也都感兴趣。所以高中毕业时得到了“三好学生”的称号。

1956~1962年，他上了北京大学物理系。这一段时期正是我国政治大动荡的时期。他经受了各种考验，坚持学习，每天晚上都到图书馆自习。当时有胡宁先生教“场论”和“相对论”，杨立铭先生教“群论”和“原子核理论”，吴杭生先生教“量子统计学”、“固体理论”和“超导理论”，孙洪洲先生教“量子力学”，郭敦仁先生教“复变函数补充”等，这些老先生的讲课水平非常高，在北大物理系的历史上达到了最高峰，使他和他的同学们获益匪浅。

1962年大学毕业。那一年我国第一次实行了通过考试录取研究生，他考取了黄昆先生的研究生。当时就考一门固体物理。固体物理是在1959年学的，已经学过了3年。他把以前的讲义和笔记找出来，复习了一星期，结果考得了100分，给黄昆先生留下了比较深刻的印象。

1962~1965年研究生学习期间，第一年学固体理论，第二年开始进入研究工作，黄昆先生让甘子钊开了一张文献单子，并且指定了一个研究题目。文献单子上一共列了有约40~50篇文章，都是有效质量理论和实验方面的经典文章，论文题目是《Ⅲ-V族化合物价带能量的线性项对回旋共振的效应》。两年多时间他天天在物理系图书馆中一篇一篇地读这些文章，作了许

多笔记，同时用电动计算机做论文。到3年学业结束毕业时，他完成了这篇论文，另外还写了2篇类似读书心得的论文《InSb的价带结构》和《用有效质量理论计算半导体中的电偶极跃迁矩阵元》，为他以后的工作打下了基础。

1966年底，夏建白接到工作分配通知，留在北大物理系能谱教研室工作。

1970年他和刚结婚的妻子为了解决两地分居问题，主动申请调到核工业部585所（现西南物理研究院）工作。他在等离子体理论和热核聚变装置——托卡马克方面真正学习到了不少东西，做了一些有意义的工作。刚改革开放时，和美国马里兰大学吴京生教授合作做了一篇论文 *Generalized Lower - Hybrid - Drift Instability* 发表在 *Phys. Fluids*, 22, 1737 (1979) 上。

1978年黄昆从北大调任科学院半导体所所长。黄昆根据工作需要把他全家调进了中国科学院半导体研究所。从20世纪80年代开始他从事半导体超晶格理论研究，取得了一些重要成果，共发表学术论文100余篇，被引用800余次，撰写专著3部。获得了1993年和2004年国家自然科学奖二等奖、1989年和1998年中国科学院自然科学奖一等奖及2004年何梁何利科技进步奖。专著《半导体超晶格物理》获得1998年全国优秀科技图书一等奖和国家图书提名奖，专著《现代半导体物理》获得2001年全国优秀科技图书三等奖。2006年由中共中央统战部及9个民主党派、团体评为“为全面建设小康社会作贡献先进个人”。2008年获中国科学院研究生院“杰出贡献教师”称号。

夏建白在2001年当选为中国科学院技术科学部院士。2003年当选为中国人民政治协商会议第十届全国委员会委员。

半导体超晶格电子结构的赝势计算

1979年夏建白调入半导体所以后，在当时的物理室从事半

导体理论研究，做了一些深能级和表面电子结构的计算。1983年他到瑞士洛桑高工在 Baldereschi 教授的指导下工作。1986年他转到了意大利国际理论物理中心工作，Baldereschi 也是中心的教授，所以他们还经常讨论。那一年，国际上半导体超晶格量子阱的实验工作已经有了很大发展，而理论工作相对滞后。原有的固体能带计算方法较难应用到这么大周期的半导体上。他当时已经熟悉了经验赝势方法，就考虑怎样将这方法用到超晶格电子结构计算上来。直接用大元胞法，计算工作量将很大，因为所用的平面波基矢的数目与超晶格元胞大小成正比。考虑到组成超晶格两种材料，如 GaAs 和 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 的电子结构相差不大，他想到了用量子力学中的微扰论来处理这一问题。取两种材料的平均经验赝势作为零级近似，计算具有这种平均赝势半导体的能量和波函数，作为零级近似的能量和波函数。再将 GaAs 和 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 中的赝势与平均赝势之差作为微扰势。因为微扰势不是很大，不会引起能级之间很大的相互作用。尤其是在超晶格中只对导带底和价带顶附近态的变化感兴趣，因此就不考虑离它们很远的态的贡献。例如可以只考虑离导带底、价带顶最近的 4 个带的贡献。因此把这 8 个能带中所有有关的 Bloch 态作为子空间，求出微扰势在它们之间的矩阵元，得到久期方程，问题就解决了。久期方程的维数，也就是子空间中基函数的数目等于能带数 (8) 乘以每个带的 Bloch 态数目 (由超晶格周期决定)，比直接用平面波法所用的基函数数目少得多，并且计算结果还便于分析。用这种方法他计算了 GaAs/ $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 以及第二类超晶格的电子结构，还推广到 Si 量子线、量子点电子结构的计算，发展了一种叫经验赝势同质结模型。这一篇和 Baldereschi 合作的文章是他回国以后完成的，用中文发表在 1987 年半导体学报上。后来翻译成英文，发表在美国出版的 *Chinese Physics* 上。这个思想后来被美国再生能源研究所的 Zunger 教授和他的一批中国学生利用了，发展了一种计算大原子集团电子结构的方法。

半导体量子点的球张量模型

20 世纪 80 年代末，作为超晶格、量子阱的发展，用分子束外延和化学胶体方法生长出了半导体量子点和量子线。1987 年夏建白在黄昆指点下，合作用有效质量理论、平面波展开方法计算了半导体直角截面量子线的电子结构，发表在 1987 年半导体学报上。1988 年他在杂志上看到了美国贝尔实验室 Brus 等人用化学方法制成了孤立的半导体量子球，并且测量了它们的吸收光谱。他们当时用了一个简单的单带模型计算量子球中的电子和空穴能级以及光跃迁几率。这种单带模型不适用于空穴态，因为空穴带是四重简并的，因此得到了不正确的空穴态波函数和光跃迁选择定则。他借鉴了以前关于半导体中的浅受主态理论，利用球对称张量模型，把受主势能的库仑项改成球对称的限制势，于是很快就把量子球中的空穴能级计算出来了，它与单带模型的结果有很大的不同。它的波函数包括了角动量 L 和 $L + 2$ 态的混合。因此光跃迁选择定则不再是 $\Delta L = 0$ ，例如 S 电子态除了可以跃迁到 S 空穴态上，还可以跃迁到 D 空穴态上。这个工作发表以后，产生了很大的影响，已经有 150 多篇引用，许多半导体量子点、团簇方面的专著都介绍了这一理论，将它作为量子球空穴态理论的基础。这一理论有一缺点，就是要求价带顶波函数有一个确定的总角动量子数 J 。当半导体价带顶的自旋轨道耦合能量 Δ_{so} 很大时（远大于空穴量子能级的能量），这一假定是成立的。当 Δ_{so} 小于空穴量子能级的能量时，需同时考虑自旋轨道分裂带，这时球张量模型就不再适用。因此后来他就发展了一个适合于一般情形的计算半导体量子球空穴能级的理论方法，发表在 1996 年 J. Luminescence 的一期有关专集上。这种方法一直被他和他的研究生用来计算各种情形下量子球的电子结构，发表了许多文章。

一维量子波导理论

20 世纪 90 年代，在半导体调制掺杂异质结产生的二维电子气上，通过刻蚀方法制作各种窄宽度的金属电极，形成了量子点或者窄电子通道。当系统的尺寸小于电子的平均自由程时，电子运动不再受到杂质或声子散射的影响，成为一种纯由量子力学决定的波动运动，这种系统就称为介观系统。介观系统最著名的一个实验是 Aharonov - Bohm 环（简称 A - B 环）。A - B 环是尺寸很小的金属或半导体圆环，两边接出两根导线。实验发现，通过 A - B 环的电流随着穿过环面积的磁通量（磁场强度乘以环面积）而振荡，振荡周期是磁通量的一个量子数，与环的大小无关。当时有一些复杂的理论来解释这一现象，而夏建白用了一个简单的量子力学模型来理解它。他假定环和两边的导线都是细的一维导线，电子在其中的运动是一种平面波，遵从量子力学规律。当电子从一边导线进入到环的时候，在一个分叉点上分成左、右两路继续运动，运动到环的另一边又汇合从另一条导线流出。电子波在分叉点处会发生干涉，一部分电子波继续向前运动，一部分波被反射回来。所以关键是在回路的节点处，电子的波函数满足什么方程。他第一个提出了关于在一维介观导体的节点上电子波函数所应满足的 2 个方程。第一个方程要求回路上的波函数在同一个节点上相等（包括振幅和相位）。第二个方程要求在节点上所有电子波的流密度（波函数对坐标的微商）之和等于零，也就是流进节点的电子流等于流出节点的电子流。可以证明这两个方程对于计算所有回路上的电子波函数（假定入射电子波函数已知）是充分和完备的。这两个方程类似于电路的克希霍夫定律。克希霍夫定律是对任意的复杂回路上电流和电压所满足的方程：在电路节点上电压相等和电流之和等于零。他用这 2 个方程除了解 A - B 环问题外，还解了各种形状的量子干涉

器件，得到不少有意义的结果。得到的许多结果都是解析的，用不到复杂的数值计算，并且物理概念清楚。文章在 1992 年发表，得到了 100 余篇的引用。当时国际上掀起了一个用这一理论计算各种一维量子波导网络电导性质的小高潮。后来比利时安特卫普大学 Peeters 教授来访，谈到他们最近要研究一维量子波导中的一些物理问题，一查就查到了这篇文章，就用了起来。随着集成电路的尺寸越来越小，这一理论将会得到越来越多的应用。

量子点和量子线中的自旋调控

进入 21 世纪以来，自旋电子学成为新发展起来的一个研究领域，它研究固体中特别是半导体中的电子自旋相干态的调制和运动。实验发现，自旋相干态能够保持足够长的时间（几百 ps 量级），因此有可能用来制造一个固态的量子计算机。但是制造实际的自旋电子器件，首先需要解决的是：如何将自旋极化电子（或空穴）注入半导体中和调控它们。夏建白和他的学生们研究了半导体量子点和量子线中，由尺寸、形状和电场可调的 g 因子和 Rashba 系数，得到了一系列有意义的结果：①发现随着量子点的尺寸变小，由于轨道运动的抑制，电子的 g 因子由体材料值趋于自由电子值。②发现窄禁带半导体量子线在横向外电场下的 Rashba 效应，电子能带分裂，分裂能量与电子波矢成正比。在大电场下，Rashba 系数与电场成非线性关系。Rashba 系数随量子点半径增加而增加，在半径等于 20 nm 时达到极大。③发现窄禁带半导体椭球的 g 因子随方位比和纵向电场而变化。在一定的电场下， g 因子能被调为零，所以在这个电场附近，自旋极化能由外电场调制。④发现 N 杂质能使能隙减小，通过掺 N 能使半导体量子点和量子线的 g 因子和 Rashba 系数的调制效果大大增强。当 N 组分由 0 增加到 0.02 时，Rashba 系数和 g 因子能增加 10 ~ 20 倍。发表的文章中共有 12 篇被收录到美国的 *Virtual Jour-*

nal of Nanoscale Science & Technology, 另被邀请为 Nova Science Publishers 出版社的专著 *Quantum Dots: Research, Technology and Application*, Ed: Randolph W. Knoss, 撰写一章: “Electronic structure and physical properties of semiconductor quantum dots”, 该书已于 2008 年出版。

夏建白一生受新中国的教育和培养, 所以热爱祖国, 立志将所学到的知识回报祖国、回报人民。他勤奋工作, 努力学习, 不断地探索新的领域, 努力在我国的半导体物理领域做出具有国际先进水平的工作。他脚踏实地, 实事求是, 不好高骛远, 具有严谨的科学作风。他热情关怀年轻人的培养和成长, 扶掖后进, 不遗余力。他认真负责地培养了许多优秀的研究生, 支持帮助了许多年轻研究骨干。

(秦华曾)

简 历

- 1939 年 7 月 5 日 出生于上海市
- 1956—1962 年 在北京大学物理系本科学习
- 1962—1966 年 在北京大学物理系当研究生
- 1967—1970 年 任北京大学物理系助教
- 1970—1978 年 任二机部 585 所实习研究员
- 1978—1986 年 任中国科学院半导体研究所助理研究员
- 1979 年 6 月 访问意大利的里亚斯特国际理论物理中心
- 1981 年 11 月 访问瑞士
- 1983—1985 年 任瑞士洛桑高等工业学院访问学者
- 1985—1986 年 任意大利的里亚斯特国际理论物理中心研究员
- 1986 年至今 任中国科学院半导体研究所研究员
- 1989 年、1991 年 任美国伊里诺大学物理系访问研究教授
- 1994 年、1996 年、1997 年、2002 年 任香港浸会大学物理系访问教授

2001 年 当选为中国科学院信息技术学部院士
2001 年 8 月 任巴西圣保罗大学圣卡罗斯物理研究所访问教授
2003—2007 年 担任中国人民政治协商会议第十届全国委员会委员
2006 年 10 月 任美国加州大学 Berkeley 分校 Lawrence Berkeley 国家实验室
访问教授
2007 年 7 月 任中国台湾中央研究院应用科学研究中心访问教授

主要论著

- 1 J B Hsia, S M Chiu, M F Hsia, et al. Generalized lower - hybrid - Drift instability. *J. Phys. Fluids*, 1979, 22: 1737.
- 2 夏建白, A Baldereschi. 超晶格电子结构的赝势计算. *半导体学报*, 1987, 8: 574.
- 3 夏建白, 黄昆. 一维超晶格的子带和光跃迁. *半导体学报*, 1987, 8: 563.
- 4 夏建白, 黄昆. 电场下超晶格的子带和光跃迁. *物理学报*, 1988, 37: 1.
- 5 项金真, 夏建白. 磁场下超晶格的子带结构及光跃迁. *物理学报*, 1988, 37: 1915.
- 6 J B Xia. Theory of hole resonant tunneling in quantum - well structures. *Phys. Rev.*, 1988, B38: 8365.
- 7 J B Xia. Theoretical analysis of electronic structures of short period superlattices $(\text{GaAs})_m (\text{AlAs})_n$ and corresponding alloys AlGaAs . *Phys. Rev.*, 1988, B38: 8358.
- 8 J B Xia. Theory of anisotropic donor states in quantum - well structures. *Phys. Rev.*, 1989, B39: 5386.
- 9 J B Xia. Electronic structure of zero - dimensional quantum wells. *Phys. Rev.*, 1989, B40: 8500.
- 10 J B Xia, W J Fan. Subband structures of superlattices under In - plane magnetic field. *Phys. Rev.*, 1989, B40: 8508.
- 11 J B Xia. $\Gamma - X$ mixing effect in GaAs/AlAs superlattices and heterojunctions.

- Phys. Rev. , 1990, B41 : 3117.
- 12 J B Xia, Y C Chang. Electronic structures and optical properties of short – period GaAs/AlAs superlattices. Phys. Rev. , 1990, B42: 1781.
 - 13 J B Xia. Effective – mass theory for superlattices grown on (11N) – oriented substrates. Phys. Rev. , 1991, B43: 9856.
 - 14 J B Xia. Electronic structures of quantum wires formed by lateral strain. Phys. Rev. , 1991, B44: 3211.
 - 15 J B Xia. Quantum wave – guide theory for mesoscopic structures. Phys. Rev. , 1992, B45: 3593.
 - 16 J B Xia, Y C Chang. Theory of electronic structure of porous Si. Proceeding of the 21st International Conference on the Physics of Semiconductor, Beijing, 1992; Phys. Rev. , 1993, B48: 5179.
 - 17 W D Sheng, J B Xia. A transfer matrix approach to conductance in electron waveguides. J. Phys. C, 1996, 8: 3635.
 - 18 J X Yu, J B Xia. Collective excitations in the coupled quantum wires. Solid State Commun. , 1996, 98: 227.
 - 19 J B Xia. Electronic structure of quantum spheres and quantum wires. Review paper, J. Luminescence, 1996, 70: 120.
 - 20 J B Xia, K W Cheah. Exciton states in isolated quantum wires. Phys. Rev. , 1997, B55: 1596.
 - 21 J B Xia. Theory of terahertz – photocurrent resonances in miniband Superlattices. Phys. Rev. , 1998, B58: 3565.
 - 22 J B Xia, K W Cheah, X L Wang, et al. Energy bands and acceptor energies of GaN. Phys. Rev. , 1999, B59: 10119.
 - 23 J B Xia, J B Li. Electronic structure of quantum spheres with wurtzite structure. Phys. Rev. , 1999, B60: 11540.
 - 24 H B Wu, K Chang, J B Xia. Electronic structure of diluted magnetic semiconductor superlattices: In – plane magnetic field effect. Phys. Rev. , 2002, B65: 195204.
 - 25 J B Xia, G Q Hai. Collective and single – particle excitations in coupled quantum wires in magnetic field. Phys. Rev. , 2002, B65: 245326.
 - 26 J B Xia, S S Li. Electronic structure and transport property of quantum rings

- in magnetic field. *Phys. Rev.* , 2002, B66: 035311.
- 27 J B Xia, S S Li. Resonant tunneling theory of planar quantum dot structures. *Phys. Rev.* , 2003, B68: 075310.
- 28 Y H Zheng, J B Xia. Mean – field study of Fe^{2+} – and Co^{2+} – doped diluted magnetic semiconductors. *Phys. Rev.* , 2005, B72: 195204.
- 29 X W Zhang, J B Xia. Effects of magnetic field on the electronic structure of wurtzite quantum dots: Calculations using effective – mass envelope function theory. *Phys. Rev.* , 2005, B72: 075363.
- 30 J B Xia, X W Zhang. Electronic structure of ZnO wurtzite quantum wires. *Eur. Phys. J. B*, 2006, 49: 415.
- 31 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.
- 32 夏建白. 现代半导体物理. 北京: 北京大学出版社, 2000.
- 33 夏建白, 葛惟昆, 常凯. 半导体自旋电子学. 北京: 科学出版社, 2008.