

附件 3:

合肥研究院研究生因公因公出国（境）事后公示表

姓 名	王晶晶	部 门	基础科学研究中心		
学 号	BZ15168001	在 读 学 位	博 士	出 访 国 家	法 国
计划出访任务	利用光子集成电路技术研发新一代激光外差辐射计，与巴黎 TCCON 网络协作测试研发的激光外差系统，学习利用激光外差数据反演温室气体垂直廓线的算法。				
计划日程	2018-09-27 合肥至北京 2018-09-28 北京至巴黎，巴黎至里尔，里尔至敦刻尔克 2019-03-27 敦刻尔克至巴黎，巴黎至北京 2019-03-28 北京至合肥				
计划往返路线	去程：合肥-北京-巴黎-里尔-敦刻尔克 回程：敦刻尔克-巴黎-北京-合肥				
邀请单位介绍	法国滨海大学大气物理化学研究室				
费用来源	国家自然科学基金重点项目 高精度测量大气温室气体气柱总量及垂直廓线激光外差光谱仪的研制				
预算经费支出	国际旅费	交通费	住宿费	伙食费	其他
	2700 欧元	500 元	2400 欧元	2400 欧元	2400 欧元
实际费用来源及支付金额	√课题组 <u>安徽光机所基础科学研究中心</u> □学校 _____ □国外资助单位 _____ □其他资助单位 _____				
实际开始日期	2018 年 9 月 27 日		实际结束日期	2019 年 3 月 27 日	
实际往返路线	去程：合肥-北京-巴黎-里尔-敦刻尔克 回程：敦刻尔克-里尔-巴黎-上海-合肥				

实际经费支出	国际旅费	交通费	住宿费	伙食费	其他
	12074 元	434.846 元	19542.45	19542.45	22858.7

实际出访单位名称及主要日程安排：

出访单位法国滨海大学，比利时根特大学，2018 年 10 月到 2018 年 12 月，修了博士联合培养计划要求的两门课程分别是“Advanced spectroscopic techniques for environmental analysis”“Formadoc”，和一次为期几天的社会实践活动“Fête de la Science”，在课余时间学习了中红外波段 8um 附近的自由空间激光外差实验研究以及与根特大学的 Günther Roelkens 教授进行视频会议为后面的实验做准备工作。2018 年 12 月到 2019 年 3 月，到比利时根特大学 Günther Roelkens 教授的实验室进行了三次实验，分别是 2018 年 12 月，2019 年 1，2019 年 3 月，在此期间也对以近红外可调谐外腔激光器为本振光的光纤激光外差辐射计进行了研究，数据结果与巴黎 TCCON 的傅里叶变换光谱仪的测量数据进行比对。最后阶段在滨海大学进行了一次博士中期答辩。

出访总结

出访主要学习、工作、生活内容、取得成果等（体裁不限，1500 字以上，可另附页）

(1) 学习上，在 2018 年 10 月 5 号到 2019 年 1 月 29 号研修了博士联合培养必修课程，其中，“Advanced spectroscopic techniques for environmental analysis”课程由 5 位老师教授，分为课堂和实验两种形式，主要学习了旋转光谱学，大气化合物的气相太赫兹光谱，振动光谱 - 拉曼和红外，先进的吸收光谱技术，通过激光诱导荧光和白炽度计量痕量物种，使用基于激光技术进行凝聚相分析。从课程的学习中了解到各种光谱技术的测量目标测量方法，对特定技术的优缺点评估，为能够提出新的发展或变种设计打下基础，学习了实验分析方法手段，设计，记录和执行优化的实验程序，包括光谱数据采集和处理，能够从中获得重要的定量参数进行光谱分析。期间也学习了初级的法语课程。在 2018 年 10 月进行了一次社会实践活动，主要是为滨海大学科技发展进行服务，期间也了解法国航天的发展。“Formadoc”是两次职业生涯规划课程，在 2019 年 1 月份，在课程中主要学习了国际职业形势，在不同国家和地区在求职中的注意事项，学习了求职信和简历的书写等。

(2) 工作上，在 2018 年主要与滨海大学实验室的博士生沈凤娇学习其实验室中在中红外 8um 附近以可调谐外腔激光器为本振光的自由空间形式激光外差实验。该装置可用于测量大气中的一氧化二氮，二氧化碳等大气中温室气体，主要对实验装置进行了微调设计以及采集处理程序的修改，了解了一套不同于国内实验室的激光外差装置。在此期间与根特大学的 Günther Roelkens 教授进行了视频会议，为后期的基于光子集成技术的激光外差辐射计的研制做准备工作。首先主要向他介绍我们已经完成的光纤式近红外激光外差辐射计，然后讨论了实验需要的所有设备，可能遇到的困难和初期的实验目标。在滨海大学主要进行了对黑体光源的选择，以及设计光学系统把黑体光耦合到单模光纤中，在滨海大学的实验室利用充满纯甲烷气体的吸收池进行光纤近红外激光外差实验，实验中本振光源使用的是可调外腔谐激光器“Tunable external cavity laser 3642 HE CL”波长可调范围是 1500nm 到 1640nm，包含了水汽，甲烷和二氧化碳等温室气体的吸收特征谱线。使用经过甲烷吸收的黑体光耦合进入单模光纤与本振激光在单模光纤中合束在高速光电探测器表面进行拍频，进行处理之后得到的甲烷气体对黑体光的吸收光谱，验证黑体光源用于初步光子集成激光外差实验的可行性。2018 年 12 月份到根特大学实验室进行实验，这次的实验目的是将黑体光耦合进入到光子集成芯

片中。实验中主要与根特大学的博士生 Bahawal Haq 进行合作，Günther Roelkens 为我们提供了实验平台，光子集成芯片，激光器以及其他检测仪器。光子集成芯片中集成了成千上百的光栅耦合器，光合束器，高速光电探测器等。我们的实验只使用光子集成芯片中的两个光栅，一个高速光电探测器，由于实验目的是初步的光子集成激光外差实验验证以及为了进行尽快的实验，所以采用的芯片不是特别为激光外差实验研制的，但是满足激光外差的实验原理。在本次实验中，是先将激光耦合到耦合光栅中由高速光电探测器得到最大的光电流，之后把黑体光接入得到单模光纤中得到黑体光的光电流。我们得到一个 nA 级别的黑体光电流。此次实验验证黑体光耦合到光子集成芯片中的光电流大小，进一步了解了光子集成芯片中关键器件的特性，为之后的黑体光的重新选择提供依据并且通过估算来评估外差信号产生所需的光电流。2018 年 1 月份进行了第二次试验，此次实验更换了黑体并且得到了更大的黑体的光电流，把 Günther Roelkens 教授提供的激光器 TSL510C 结合实验系统测量了频谱特性，并且将黑体光和激光拍频进行外差实验，实验中激光器结合实验系统得到的频谱信号是有益于外差实验的，激光外差实验结果也得到了具有外差信号特征的信号。之后讨论了下一步实验计划，根据耦合光栅和高速光电探测器的特性设计 TIA 对拍频信号进行放大，得到进一步的外差信号，并且在激光器的可调节波长范围以及光栅的有效耦合波长范围内选择二氧化碳的吸收谱线。2019 年 3 月 18 号进行了第三次实验，此次实验使用了设计的 TIA 进行信号放大，但是外差信号没有明显的改善，由于 TIA 的设计调节和实验验证需要一定的时间所以后续的设计和验证工作需要在国内进一步进行。

在滨海大学实验室也进行了光纤激光外差的实验研究，采用的本振激光是可调谐外腔激光器“Tunable external cavity laser 3642 HE CL”在近红外波段的激光，把激光和由太阳跟踪仪得到的直射太阳光进行拍频再经过后续电路处理得到大气对太阳光的吸收光谱。由这套光纤激光外差辐射计得到的吸收光谱覆盖范围广，其信噪比和光谱分辨率可与巴黎 TCCON 的测量数据相媲美。主要测量了多个波段处二氧化碳的吸收光谱，二氧化碳同位素碳 13 的吸收光谱，以及甲烷和水汽的吸收光谱。

2019 年 3 月 13 号，为了完成在滨海大学的博士联合培养计划要求，进行了博士的中期答辩，完成一份 60 页的对于博士前两年工作的总结报告，一次博士中期答辩报告，与评委老师交流了学习，研究以及生活。

(3) 生活上，体验了法国人们的生活方式和生活节奏，他们待人热情礼貌真诚，乐于助人，他们在科研上也充满热情和严谨。很感谢法国导师陈卫东教授生活上的关心，和学习上建议与指导。感谢高晓明导师和谈图老师的支持与指导。感激实验室师兄师姐的异国他乡的帮助以及根特大学 Günther Roelkens 教授和 Bahawal Haq 博士的认真合作与积极配合。

(4) 成果：研修了法国滨海大学博士计划要求的课程学习；对基于光子集成技术的激光外差辐射计进行了初步实验验证；研制了一台基于可调谐外腔激光器的光纤激光外差辐射计；发表论文一篇“Mid-infrared laser heterodyne radiometer (LHR) based on a 3.53 μm room-temperature interband cascade laser” (Optic express)。

公示情况：

签字：

日期：