

2024 年度福建省科学技术奖提名项目公示内容

项目名称：硅基应力光电集成芯片的制备及关键技术

提名奖种：技术发明奖

提名单位（专家）：三明市科技局

项目简介：硅基光电集成芯片具有成本低、集成度高、尺寸小、功耗低以及便于同微电子芯片联合加工等优点。目前，用于光通信和光互连的硅基光电集成芯片已投入商用，面向光传感、高性能光计算、5G 通信、光子神经网络、激光雷达以及人工智能的硅基光电子技术的应用研究正如火如荼的展开。尽管硅基光电子技术取得了长足的进展，但由于其材料体系的单一性，硅基光电子仍存在制约其性能进一步提升的物理瓶颈问题，主要体现在：（1）调制器：由于硅为中心反演对称结构，因此其不具有高调制效率的一阶电光效应。目前硅基调制器采用的主要是等离子色散效应，其具有调制速率慢、插损大、功耗高等缺点。（2）探测器：由于硅的带隙为 1.1eV，其吸收限为 1100nm，因此对 1550nm 波段的通信光无法吸收。目前需通过异质外延锗作为吸收材料。

鉴于上述问题，本项目提出并实现了通过在固定容腔内沉积非晶硅并实施激光退火，由非晶硅转变为应力单晶硅的工艺来制备具有一阶电光效应的硅基电光调制器和 1550nm 波长吸收的全硅探测器。其相关创新点如下：

(1) 硅基应力光电集成芯片的设计与制备：本项目相比于传统的芯片设计，其中最突出的创新点为通过激光沉积非晶硅-激光退火工艺制备出应力硅，并通过一步工艺同时实现一阶电光效应调制器和全硅长波长探测器的制备，提升了调制器的性能，破除了锗外延生长设备的限制。探测器转变的电信号经过后端的 TIA 芯片放大后进行信号处理。片外激光器与硅基光电集成芯片通过光纤进行连接，硅基光电芯片与 TIA 实施电学封装。硅基集成光电芯片完全由本项目组自主设计，委托代工制造。后续进行自主测试和封装。

(2) 具有一阶电光效应的硅基调制器的设计与制造：通过设计不同的孔洞尺寸，可以在不同位置实现不同数值和不同晶向的应力，从而使调制器的一阶电光效应最大化。并进一步根据电子和空穴迁移率的不同，设计了 slab 区的长度比例，使调制器的充放电过程达到了电子和空穴相匹配的程度，进一步提升了一阶电光效应调制器的性能。

(3) 长波长吸收硅基全硅探测器的设计与制造：通过激光退火非晶硅，在硅中产生拉应力，使硅的吸收波长从 1100nm 拓展到 2000nm 以上，实现了硅介质对 1550nm 通信波长的吸收。由于应力硅中缺陷较多，造成暗电流较大，通过电容式结构可以使暗电流降为零。并进一步通过串联 PN 结提升了电容式光电探测器的工作频率。设计制造了双入射的探测器结构，将入射光分为两束，分别入射到吸收区，可以使吸收区的光场均匀分布，并进一步优化了吸收区的长度。设计制

造了一种具有放大作用的硅光探测器，可以将微弱的信号进行放大。

本项目设计制造的芯片主要面向光通信、光互连及光探测等应用，针对硅基集成芯片中的核心器件进行了一系列的创新设计，并获得相关授权国家发明专利 13 项，发表 sci 收录论文 11 篇。项目关键技术达到国际先进水平。

主要完成单位： 三明学院

主要完成人及其贡献：

1. 崔积适（相关专利的创新点提出），
2. 陈洪敏（相关专利的申请、软件仿真设计），
3. 王娟（相关设计的理论基础支撑）。

主要知识产权：

- （1）发明名称：一种电容式光电探测器及制作工艺，专利号：ZL201811253035.0，授权号：CN109545882B，授权日：2020.10.13，发明人：崔积适，刘持标，邱锦明，陈洪敏；
- （2）发明名称：一种具有电流放大作用的硅光电探测器，专利号：ZL201911176655.3，授权号：CN110993708B，授权日：2021.03.30，发明人：崔积适；
- （3）发明名称：硅基电光调制器的调制臂长度设置方法及设备，专利号：ZL201811321140.3，授权号：CN109324428B，授权日：2021.11.12，发明人：崔积适，刘持标，邱锦明，陈洪敏；
- （4）发明名称：一种新型侧向 pn 结光电探测器，专利号：ZL202010575846.3，授权号：CN111668328B，授权日：2022.03.15，

发明人：崔积适，王娟，崔文静，陈洪敏；

(5) 发明名称：一种光电微环及光电探测器，专利号：

ZL202010574928.6，授权号：CN111697087B，授权日：2022.04.05，

发明人：崔积适；

(6) 发明名称：一种光电探测器，专利号：ZL202010575950.2，授

权号：CN111668329B，授权日：2022.04.05，发明人：崔积适；

(7) 发明名称：一种电容式光电探测器，专利号：ZL202010574763.2，

授权号：CN111668327B，授权日：2022.04.22，发明人：崔积适，王

娟，崔文静，陈洪敏；

(8) 发明名称：一种光栅结构的硅基全硅表面吸收探测器及其制备

方法，专利号：ZL202010997856.6，授权号：CN112201707B，授权日：

2022.06.24，发明人：崔积适，王娟，崔文静，陈洪敏；

(9) 发明名称：一种应力可控的应力硅及其制备方法，专利号：

ZL202110494400.2，授权号：CN113380711B，授权日：2023.07.28，

发明人：崔积适；

(10) 发明名称：一种基于应力硅的电光调制器及其制备方法，专利

号：ZL202011075048.0，授权号：CN112269277B，授权日：

2024.03.22；发明人：崔积适，王娟，崔文静，陈洪敏

代表性论文专著：

(1) **Jishi Cui**, Zhiping Zhou*, High performance Ge-on-Si photodetector with optimized DBR location, Optics Letters, 42 (2017) 5141-5144.

(2) **Jishi Cui**, Bowen Bai, Fenghe Yang, and Zhiping Zhou*, Optical

saturation characteristics of dual-and single-injection Ge-on-Si photodetectors[J]. Chinese Optics Letters, 2018, v.16(07):82-85.

(3) **Jishi Cui*** , Tiantian Li, Fenghe Yang, Wenjing Cui, Hongmin Chen. The dual-injection Ge-on-Si photodetectors with high saturation power by optimizing light field distribution[J]. Optics Communications, 2021, 480: 126467.

(4) **Jishi Cui**, Hongmin Chen, Jianping Zhou, Tiantian Li*. High Performance Ge-on-Si Photodetector With Optimized Light Field Distribution by Dual-Injection[J]. IEEE Photonics Journal, 2022, 14(2): 1-4.

(5) Chang Chang, Xiaoping Xie*, Tiantian Li, and **Jishi Cui***, Configuration of the active region for the Ge-on-Si photodetector based on carrier mobility, Frontiers in Physics, 2023, 11: 1150684.