

**MEMÓRIAS**  
**DA**  
**ACADEMIA DAS CIÊNCIAS**  
**DE**  
**LISBOA**

**CLASSE DE CIÊNCIAS**

---

**Eletrónica CMOS de última geração para a Internet-de-Tudo  
e Laboratório-em-CMOS**

RUI PAULO DA SILVA MARTINS

---



**ACADEMIA DAS CIÊNCIAS**  
**DE LISBOA**

LISBOA • 2025

*Título:* Eletrónica CMOS de última geração para a Internet-de-Tudo  
e Laboratório-em-CMOS

*Edição:* Academia das Ciências de Lisboa

*Data de edição:* 2025

*DOI:* <https://doi.org/10.58164/a5be-5c12>

# Eletrónica CMOS de última geração para a Internet-de-Tudo e Laboratório-em-CMOS

RUI PAULO DA SILVA MARTINS<sup>1</sup>

## RESUMO

Este trabalho começa por apresentar a perceção existente em todo o mundo de que Macau é um local mais conhecido por ser uma cidade de jogo, em que os seus *chips* mais famosos são as fichas de casino (*chips*), cuja forma é redonda — Figura 1. No entanto, o objetivo principal da apresentação é precisamente contrariar esse facto e demonstrar que Macau passou a ser também reconhecido internacionalmente, nomeadamente nos sectores académicos e industriais pela excelência dos seus resultados no projeto de outro tipo de *chips*, os eletrónicos, estes com forma quadrada ou retangular. Estes *chips* desenvolvidos ao longo dos últimos anos no Laboratório de Referência da China em Circuitos Analógicos e Mistos de Muito Larga Escala, baseado na Universidade de Macau (UM), levaram ao posicionamento da Universidade no topo do ranking na área da Eletrónica (*State of the Art*) em toda a China, Hong Kong e Macau, e igualmente nas 5 instituições de topo no mundo.

### Macau, China



...best known for its **Casino Chips!**



...but, I'll tell you a different story!

Figura 1. Macau, China, mais conhecida pelas suas fichas de casino (*chips*).

## 1. INTRODUÇÃO

A omnipresente capacidade de deteção e controlo de um vasto número de objetos fornecidos pela infraestrutura de rede em constante expansão da Internet de Tudo (*Internet of Everything – IoE*) simplifica significativamente a nossa vida

---

<sup>1</sup> Academia das Ciências de Lisboa, Laboratório de Referência em Eletrónica em Macau, Universidade de Macau, China.

diária e aumenta a produtividade. Desenvolvimentos recentes de sistemas *IoE* sem fios portáteis que mantêm com eficiência bilhões de dispositivos sempre *online* exigem circuitos integrados (ICs) avançados, também conhecidos como *chips* eletrônicos, que estão no centro das tecnologias de informação e comunicação. Além dos requisitos de baixo consumo de potência com custo reduzido, é necessário autoalimentar esses *chips* através de técnicas de recolha de energia que exigem soluções de potência totalmente integradas com alta eficiência para aliviar o esforço de substituição da bateria. Além disso, devemos evitar componentes fora do *chip*, permitindo a implantação flexível de dispositivos de dimensões muito reduzidas, o que conduzirá a soluções cada vez mais sustentáveis.

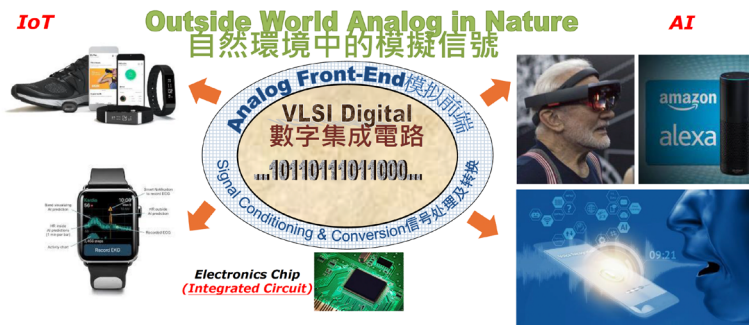
A Internet de Tudo (*IoE*), claramente uma tecnologia do século XXI, joga brilhantemente com dados digitais obtidos de fontes analógicas, reunindo duas realidades diferentes, o mundo analógico (físico/real) e o digital (cibernético/virtual). Sendo os limites da *IoE* ainda de natureza analógica, as funções necessárias na interface envolvem detecção, medição, filtragem, conversão, processamento, conexão, o que implica que a parte analógica governa todo o sistema em termos de exatidão e precisão. Além disso, essa interface integra vários subsistemas analógicos e de sinais mistos que compreendem principalmente transmissão e recepção de sinais, geração de frequência, captação de energia, conversão de dados e de potência — Figura 2.

Esta palestra apresenta arquiteturas inovadoras de circuitos eletrônicos de última geração (*state of the art*) de alguns dos blocos de construção mais críticos usados na interface analógica/digital, cobrindo transdutores celulares sem fios, geradores de frequência de ondas milimétricas, interfaces de recolha de energia, e ainda, conversores de dados e de potência, que apresentam desempenhos de alta qualidade obtidos através de baixo consumo de potência, alta eficiência energética e alta velocidade. Estes circuitos foram desenvolvidos ao longo dos últimos 3 anos no Laboratório de Referência da China em Circuitos Analógicos e Mistos de Muito Larga Escala, baseado na Universidade de Macau (UM), e levaram ao posicionamento da UM no topo do ranking na área da Eletrônica em toda a China, Hong Kong e Macau, e igualmente nas 5 instituições de topo no mundo. Para além disso, os resultados obtidos durante o mesmo período conduziram à atribuição dos 2 primeiros prémios de invenção tecnológica pelo Fundo de Desenvolvimento de Ciência e Tecnologia, do Governo de Macau, em 2020.

Serão relatados igualmente outros desenvolvimentos do mesmo laboratório, numa área que faz a fusão entre a biologia e a eletrónica, que conduziram anteriormente a circuitos *Lab-on-Chip* e que atualmente atingem níveis de miniaturização ainda mais elevados com a integração no que se designa por *Lab-on-CMOS*. Será mencionado também o primeiro *spin-off* do laboratório que deu origem a uma *start-up* empresarial que está em fase de afirmação no mercado da Grande Baía Cantão-Hong Kong e Macau, para além de outras atividades comerciais com empresas chinesas de topo na região.

### Investigação Focada na Miniaturização e Redução Energética

[Energia recolhida do Ambiente ou do Corpo Humano]



The role of Analog Front-End (AFE) Interface –Every System's Bottleneck

...but, not only - Mixed-Signal implies knowledge in VLSI Digital as well

Figura 2. Investigação concentrada na Miniaturização e Redução Energética.

## 2. FOCO DA INVESTIGAÇÃO

O mundo conhece Macau, apesar da sua história secular de ligação entre o Oriente e o Ocidente, essencialmente como uma cidade de jogo, em que os seus *chips* mais famosos são as fichas de casino, cuja forma é redonda. Nesta apresentação tentarei demonstrar que Macau exhibe também uma outra realidade diferente, nomeadamente em termos universitários, através da excelência dos seus resultados em Microeletrónica no projeto de outro tipo de *chips*, os circuitos integrados eletrónicos, com forma quadrada ou retangular. Estes *chips* desenvolvidos ao longo dos últimos anos no Laboratório de Referência da China em Circuitos Analógicos e Mistos de Muito Larga Escala, baseado na Universidade de Macau

(UM), obedecem a um tipo de investigação académica focada na miniaturização e redução energética, utilizando energia recolhida do Meio Ambiente ou do Corpo Humano. Por outro lado, procuram minimizar em termos de dimensões e consumos de potência, assim como aumentar a eficiência e rapidez, da Interface Analógica dos *chips* eletrónicos cuja componente principal é essencialmente Digital, mas que precisa sempre de comunicar com o mundo exterior, que é Analógico, por natureza, e cujo projeto em processos a evoluir continuamente impõe consideráveis estrangulamentos dos sistemas. O referido laboratório, para além da área de eletrónica *state of the art* concentra-se igualmente num outro sector que faz a ponte entre a biologia e a eletrónica, também designada por *Lab-on-Chip*. No primeiro caso, eletrónica, o objetivo principal tem sido, ao longo dos últimos cerca de 70 anos, a redução das dimensões dos equipamentos e o seu consumo de potência como, por exemplo, no início um computador ocupava uma sala, e agora está na palma das nossas mãos, num vulgar telemóvel. No segundo caso, biologia, a estratégia atual prende-se com a possibilidade de redução das dimensões habituais de um laboratório de biologia com várias bancadas ocupando uma sala, para dispositivos miniaturizados e portáteis contendo *chips* eletrónicos que permitam a manipulação de materiais orgânicos, nomeadamente líquidos, usando uma técnica que se designa por *Digital Microfluidics* — Figura 3.

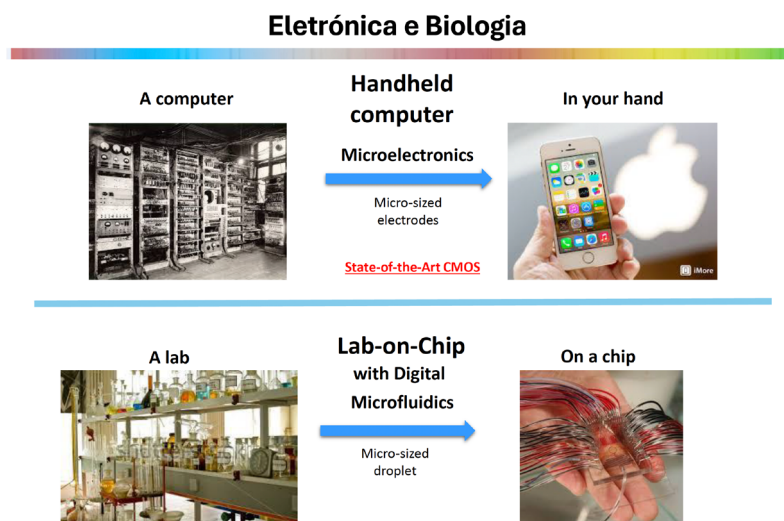


Figura 3. Foco da Investigação em Eletrónica *state of the art* e *Digital Microfluidics*.

### 3. CIRCUITOS INTEGRADOS E O DESENVOLVIMENTO DA CHINA

Os *chips* eletrônicos têm suportado o desenvolvimento económico da China, em particular desde 2014 quando variados relatórios governamentais o têm referido. Em 2019, o valor total das importações de circuitos integrados, vulgarmente designados por *chips*, foi superior a 300 mil milhões de USD, sendo o primeiro produto das importações em 3 anos consecutivos, incluindo o petróleo, podendo dizer-se com exatidão que nesse período a China importou mais petróleo do que “areia”, tendo em conta que os *chips* são feitos de silício, existente na areia das praias, apesar do silício dos *chips* ser purificado. Para além disso, os *chips* eletrónicos são cruciais na disputa tecnológica comercial entre a China e os Estados Unidos, pelo que foi considerado extremamente urgente o desenvolvimento da capacidade de a China produzir a sua própria tecnologia inovadora no projeto de *state of the art chips*. A autossuficiência chinesa nesta área implica apurado conhecimento e elevado desempenho em termos da produção de software, e no projeto e fabrico de circuitos integrados, nos processos mais avançados (abaixo dos 10 nm). Para isso, empresas chinesas como a Empyrean (*software*), Huawei e Hisilicon, assim como a SMIC, terão de competir em pé de igualdade com os gigantes americanos, nomeadamente, a Cadence, a Synopsys e a Mentor Graphics (*software*), a Qualcomm e a Broadcom, assim como a INTEL e a TSMC (de Taiwan) — Figura 4.

#### China precisa de ser auto-suficiente na produção de Chips

- [The largest import from China - Integrated Circuits \(Chips\)](#). In 2019, the total value of imports exceeded US\$300 billion, while exports only amounted to ~US\$100 billion, a deficit of approximately 200 billion.

BBC news 2020.5.15	US announced new restrictions on the Chinese telecommunications company Huawei with further cracking down on its semiconductor chip supply. The US Department of Industry and Security announced a new regulation on the 15th. It requires manufacturers that use US technology or design on semiconductor chips must obtain export license from the US government before exporting to Huawei, even if they are produced outside US.
-----------------------	--

- Three key to high-performance chips: software, design, manufacturing



Figura 4. China precisa de ser autossuficiente na produção de *chips*.

#### 4. ÊNFASE DO GOVERNO EM CIRCUITOS INTEGRADOS E INDÚSTRIAS ESTRATÉGICAS

Desde 2014, os relatórios de trabalho do governo chinês têm destacado repetidamente os circuitos integrados como uma área-chave para a inovação e o desenvolvimento económico. Os relatórios enfatizam o estabelecimento de plataformas empreendedoras e a aceleração da Investigação e Desenvolvimento – I&D em indústrias emergentes estratégicas, incluindo os Circuitos Integrados – CIs, comunicações móveis e novas energias. As duas sessões do Congresso Chinês de 2020 concentraram-se na localização de *chips*, inovação independente e no estabelecimento de disciplinas académicas acerca de CIs. Estes, foram classificados como o principal produto importado por três anos consecutivos, refletindo a sua importância estratégica — Figura 5.

#### Os Circuitos Integrados suportam o Desenvolvimento Económico da China

- Since 2014, integrated circuits (IC) have been mentioned in the government work reports for many times. In the 2020 National Two Sessions, keywords such as **chip localization, independent innovation, Internet of Things chips, and the establishment of integrated circuit first-level disciplines** have been mentioned many times.
- In 2019, the total value of integrated circuit imports was **US\$305.55 billion, ranking first among all imported products for three consecutive years (including oil)**. The huge data reflects the importance and strategic value of integrated circuits.

Integrated circuits being written in the government work report in recent years	
Date	Content
5 Mar 2014	Establishing an entrepreneurial innovation platform for emerging industries in order to develop advanced technologies and lead the future industrial development in the areas of new generation of mobile communications, <b>integrated circuits</b> , big data, advanced manufacturing, new energy, new materials, etc.
5 Mar 2015	Focus on cultivating new growth points, accelerate the development of the service industry, and support the development of strategic emerging industries such as mobile internet, <b>integrated circuits</b> , high-end equipment manufacturing, new energy vehicles. As the internet finance are emerging and new formats such as e-commerce and express logistics are growing rapidly, many 'makers' stand out while the cultural and creative industries are also booming.
5 Mar 2017	Full-scale implementation of the development planning of strategic emerging industries by accelerating the R&D and technology transformation of new materials, new energy, artificial intelligence, <b>integrated circuits</b> , biopharmaceuticals, fifth-generation mobile communications, etc., in order to make the industrial clusters bigger and stronger.
5 Mar 2018	Promote the development of <b>integrated circuits</b> , fifth-generation mobile communications, aircraft engines, new energy vehicles, new materials and other industries; develop industrial internet platforms; and create a demonstration zone for "Made in China 2025".

Source: DRAMeXchange

Figura 5. Os Circuitos Integrados suportam o desenvolvimento económico da China.

#### 5. DISPUTAS TECNOLÓGICAS E COMERCIAIS ENTRE OS EUA E A CHINA IMPACTAM O FORNECIMENTO DE CHIPS

O governo dos EUA incluiu a Huawei e empresas relacionadas na “Lista de Entidades Estrangeiras Suspeitas” em maio de 2019, restringindo a sua capacidade de comprar *chips* e componentes a empresas americanas sem aprovação. Em maio de 2020, os EUA alargaram os controlos de exportação às empresas estrangeiras de semicondutores que utilizam tecnologia americana, exigindo licenças antes do fornecimento à Huawei. Estas medidas realçam o papel crítico dos *chips* eletrónicos no atual conflito tecnológico e comercial entre os EUA e a China — Figura 6.



Figura 6. Disputa Comercial EUA *versus* China.

## 6. DEPENDÊNCIA DA CHINA DE CHIPS IMPORTADOS E PROCURA DE AUTOSSUFICIÊNCIA

Os circuitos integrados (CIs) são cruciais para o desenvolvimento económico da China, com relatórios governamentais desde 2014 enfatizando a localização de *chips*, a inovação e as indústrias estratégicas. As importações de circuitos integrados da China ultrapassaram os 300 mil milhões de dólares em 2019, com um défice comercial de cerca de 200 mil milhões de dólares devido à redução das exportações. As restrições dos EUA ao fornecimento de *chips* à Huawei destacam vulnerabilidades na cadeia de fornecimento de semicondutores da China, e salientam a importância estratégica da sua produção interna. A China pretende desenvolver capacidades nacionais de *design* e fabricação de *chips* para reduzir a dependência de tecnologia estrangeira, desenvolvendo internamente os principais fatores para a obtenção de *chips* de alto desempenho, nomeadamente as *Electronic Design Automation – EDA Tools (software)* e a capacidade de fabrico (*hardware*) — Figura 7.

### **Os Chips eletrónicos são cruciais nesta disputa!**

- On 15 May 2019, the US Department of Commerce listed Huawei and 70 companies on the "Entity List" on the grounds of "preventing foreign entities from using US technology in a manner that might harm US national security or foreign policy interests". Huawei will not be able to purchase chips and other components from US companies without US government's approval.
- On 15 May 2020, the US Department of Commerce requires foreign semi-conductor companies that use US equipment and technology to obtain US government's permission before exporting to Huawei.

**It is deemed urgent to self-develop innovative core technology of Integrated Circuits!**

Figura 7. Dependência da China e redução da dependência dos EUA.

## 7. LABORATÓRIO DE REFERÊNCIA DA CHINA, EM MACAU, NA ÁREA DA ELETRÓNICA

Obedecendo ao *Motto* com que foi elevado a esse estatuto, em 2011, pelo Ministério da Ciência e Tecnologia da China: “*Locally, from (World) Quality towards (National) Quantity*”, ou seja: “*Localmente, desde a Qualidade a nível Mundial até à Quantidade a nível Nacional*”, este laboratório designado por “*State Key Laboratory of Analog and Mixed-Signal VLSI*”, ou “*Laboratório de Referência do Estado em Circuitos Integrados em Muito Larga Escala Analógicos e Mistos*”, foi criado a partir de nada no âmbito da atividade de um grupo de investigação iniciada a partir de 1993. Neste ano foram propostos e lançados, primeiro, no ano letivo de 1993/1994 o Mestrado (onde a UM projetou o seu primeiro circuito integrado designado por UMCHIP — Figura 8), e depois em 1995/1996 o Doutoramento, ambos em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores. Já mais tarde, após o primeiro doutoramento (2002) em duplo-grau (ou cotutela) com o Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa (Figuras 9 e 10), criou-se em 2003 o Laboratório de Circuitos Integrados em Muito Larga Escala Analógicos e Mistos (*Analog & Mixed Signal VLSI Laboratory*), elevado a Laboratório de Referência da China (*State-Key Lab*) em 2011. Posteriormente, foi criado o Instituto da Microeletrónica em 2019, através do qual se lançaram em 2021/2022, dois Mestrados, o *Master of Science in Microelectronics*, para alunos interessados em prosseguir a sua carreira na indústria, onde a tese é essencialmente o relatório de um estágio numa empresa, e o *Master of Philosophy in Microelectronics*, para alunos que pretendam abraçar uma carreira académica com a continuação a seguir de um Doutoramento — Figura 11. Em 2021/2022 a equipa do Instituto da Microeletrónica era formada por 20 Académicos (Doutorados), sendo 50% de origem local tendo todos estudado nas Escolas de Macau, e em seguida desenvolvido a sua carreira académica em termos de Licenciatura, Mestrado e Doutoramento na Universidade de Macau. A equipa em 2021 é formada por mais de 100 Investigadores, incluindo os alunos de Mestrado e Doutoramento.

## State-of-the-Art CMOS

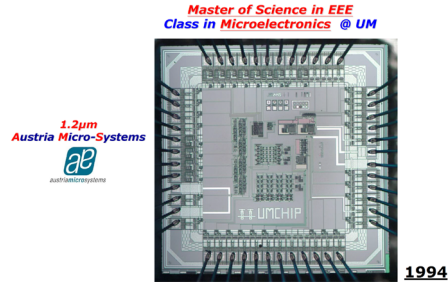
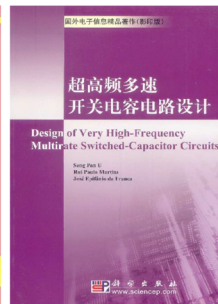
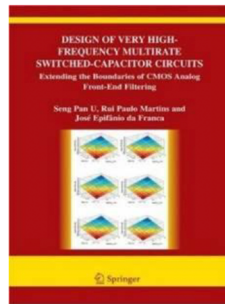


Figura 8. Primeiro Circuito Integrado projetado na UM pela primeira classe de alunos de Mestrado – UMCHIP.

## First Ph.D. Thesis in *Microelectronics*

Key-Thesis in the area of *Analog Filtering and Signal Processing*

Book by Springer



2002

Selected by China Science Academic Press for a Special Collection

Figura 9. Primeira Tese de Doutoramento em Duplo-Grau, UM/IST-UTL em Lisboa, em 2002.

## UM @ the Top

First PhD Thesis in Microelectronics

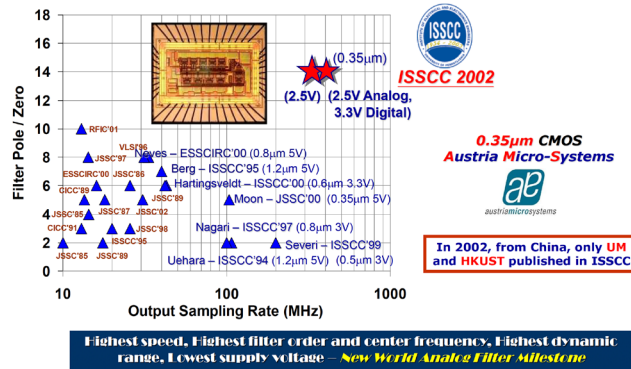


Figura 10. Primeiro Artigo/Chip publicado pela UM e pelo IST no ISSCC em 2002.

## **Unique in the Greater Bay Area**

**To attract potential researchers & professional engineers from the electronics industry – Great Demand !** **(National) Quantity**



Figura 11. Mestrados em Microeletrónica, pioneiros na zona da Grande Baía – Cantão, Zhuhai, Shenzhen, Macau e Hong Kong.

### **8. PAPEL DA UNIVERSIDADE DE MACAU NA INVESTIGAÇÃO EM MICROELETRÓNICA E CONQUISTAS NO ISSCC**

A Universidade de Macau (UM) lidera a investigação em circuitos integrados, particularmente em conversores analógico-digitais (ADCs), com publicações significativas na *International Solid-State Circuits Conference – ISSCC* (Figura 12) e no *Journal of Solid-State Circuits – JSSC* (Figura 13), ambos do *Institute of Electrical & Electronics Engineers – IEEE*. A UM está entre as principais instituições globais em *design* de *chips*, cultivando talentos que contribuem para gigantes da indústria quer no *Silicon Valley* (Qualcomm, Broadcom, Apple, Marvell), nos EUA, ou na China (Huawei, HiSilicon). A investigação da universidade inclui tecnologia CMOS de ponta e recebeu reconhecimento internacional pela sua liderança científica — Figuras 14-16.

## What is ISSCC? *\*A World-Benchmark in Electro*

- International Solid-State Circuits Conference
- **The highest-level conference/meeting** in the field of **Integrated Circuit Design** recognized by **Academia and Industry** in the **World**
  - Known by the Mainland media as the **"World Olympic Congress** or **Chip Olympics"** in the field of integrated circuit design
  - The Taiwan region media called it the **"Oscar"** in the IC field
- **Since 1953**, it has the highest-level of representation because of the participation of the world's top industry and academia, also, it is the first place to publish the world's most cutting-edge solid-state circuit technology in various periods.



"ISSCC is one of the best places to understand what the state-of-the-art companies in Electronics, such as Intel and Qualcomm, are doing in terms of advanced **Integrated Circuits**. 40-50% of ISSCC papers come from the industry."

-- Prof. Wang Zhihua, IEEE Fellow from Tsinghua University

Figura 12. International Solid-State Circuits Conference – ISSCC, a conferência de maior prestígio mundial na área de circuitos integrados, que se realiza todos os anos em São Francisco, EUA.

## What is JSSC?

- IEEE Journal of Solid-State Circuits
- \*Top Scientific Journal in Electronics\**



### Journal Impact Factor Calculation

2018 Journal Impact Factor =  $\frac{2,716}{500} = 5.173$

Citations in 2018 to items published in 2016 (1,416) + 2017 (1,298) = 2,716

Number of citable items in 2016 (250) + 2017 (250) = 500

### Contributions by country/region

country	count
1. USA	442
2. South Korea	92
3. CHINA/TAIWAN/ROC	73
4. Japan	69
5. Other/Canada	63

First-Time China in the World-Podium because of SKLab-AMSV/U Macau

### 2016-18 ranking in paper contributions

#### Contributions by organizations

organization	count
1. UNIVERSITY OF CALIFORNIA SYSTEM	94
2. INTEL CORPORATION	52
3. DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY	44
4. UNIVERSITY OF MICHIGAN SYSTEM	37
5. BROADCOM	36
6. KOREA ADVANCED INSTITUTE OF SCIENCE & TECHNOLOGY (KAIST)	34
7. SAMSUNG	30
- QUALCOMM	30
9. UNIVERSITY OF TEXAS SYSTEM	28
10. COLUMBIA UNIVERSITY	25
11. MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY (MIT)	24
12. INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES (IBM)	23
13. UNIVERSITY OF MACAU	22
- TEXAS INSTRUMENTS	22
15. IMEC	21
- STMICROELECTRONICS	21
22. HONG KONG UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY	16
41. NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY	9
- INFINEON TECHNOLOGIES	9
- TOSHIBA	9
- UNIVERSITY OF SOUTHERN CALIFORNIA	9

Figura 13. Journal of Solid-State Circuits Conference – JSSC, a revista de maior prestígio mundial do IEEE na área de circuitos integrados, a mais lida pela indústria de semicondutores.





Figura 16. 21 Chips apresentados pela UM no ISSCC entre 2017 e 2019.

## 9. PROJETOS AVANÇADOS DE CHIPS E APLICAÇÕES NA INTERNET OF EVERYTHING (IOE)

A UM desenvolveu vários *chips* avançados para a conectividade da IoE, incluindo transmissores sem fios 5G, interfaces universais de recolha de energia e osciladores de ondas RF/milimétricas. Estes *chips* apresentam inovações como a tecnologia de filtros *N-path*, alta eficiência energética e ampla cobertura de frequência, suportando comunicações sem fios da próxima geração e aplicações da *Internet of Things – IoT* — Figuras 17-20.

### Enabling Internet-of-Everything (IoE)

[2018-2020]

**\*1st Prize 2020 FDCT Technological Invention Award\***

- 14 Advanced Electronic Chips designed for the Internet of Everything (IoE) with results published at ISSCC 2019-2020 and JSSC 2018-2020 respectively.

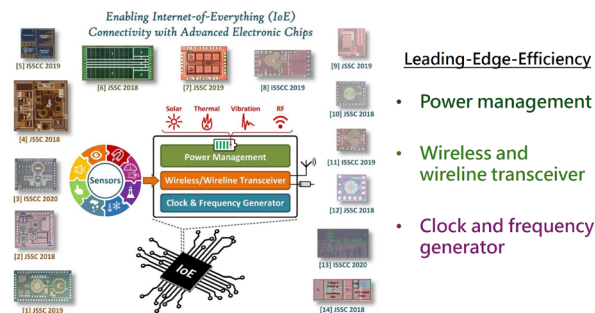


Figura 17. Chips na área da Internet of Everything.

A chip example – 5G wireless transmitter chip

- Propose N-path filter technology of bandwidth expansion, eliminate off-chip filters, reduce the cost of mobile phones, save space
- Comparing with the existing solutions, it can simultaneously achieve low out-of-band noise ( $< -157.5\text{dBc/Hz}$ ), large output power (3dBm) and high emission efficiency (2.8 to 3.6%), and reduce the chip area ( $0.32\text{mm}^2$ )

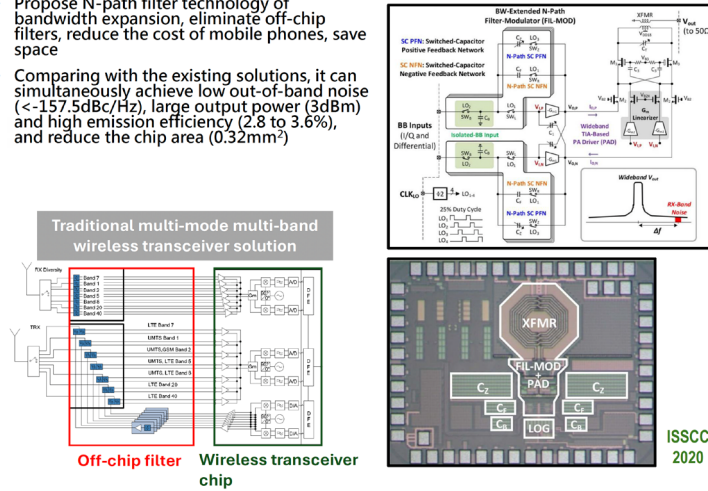


Figura 18. Chips na área de 5G – Wireless Transmission.

A chip example - universal energy harvesting interface chip

- The structure of the switched-capacitor converter with voltage feeding algorithm is proposed. Support ultra wide range input and output voltage change. Greatly reduces energy loss.
- Comparing with the traditional solutions, it greatly improves the conversion efficiency (85%) at high power density and can support more different voltage conversion rates (VCR).

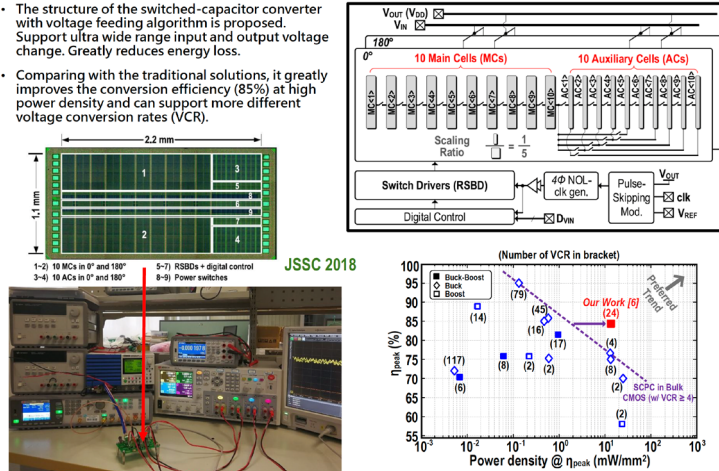


Figura 19. Chip na área da recolha de energia.

### A chip example - RF/millimeter wave oscillator chip

- The 4 oscillator chips designed in this project can meet the needs of different applications in the DC-70GHz band
- Comparing with the traditional solutions in the same frequency band, the four chips have achieved the best quality factor (FoM); comprehensive performance including different indicators such as noise, frequency, power consumption, etc.)

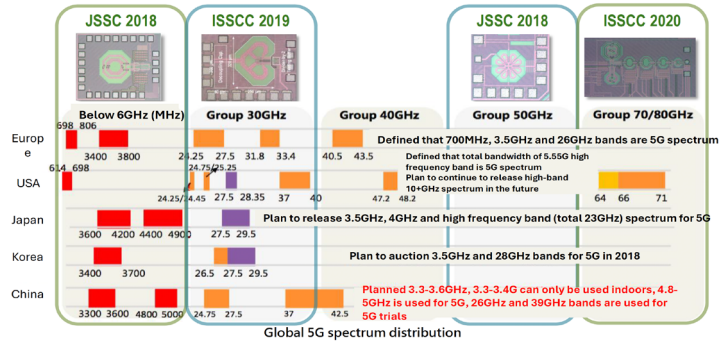


Figura 20. Chip com um Oscilador na área de RF e ondas milimétricas.

## 10. COLABORAÇÃO COM A INDÚSTRIA E DESENVOLVIMENTO DE TALENTOS

A UM colabora com líderes da indústria na China, como a Huawei e a Hisilicon, em projetos de *chips*, fomentando o talento através de estágios e formações. Os graduados (mestrado e doutoramento) contribuem para essas empresas apoiando as capacidades nacionais de *design* de *chips*. O laboratório também se dedica a projetos de consultoria e I&D, melhorando o ecossistema de tecnologia de *chips* da China — Figuras 21 e 22.

### Cooperation with the Industry

- Huawei Shenzhen
  - Low power radio frequency identification chip, 2020-2021, in progress.
- Huawei Hisilicon Shenzhen
  - High-performance millimeter wave phase-locked loop, 2020-2021, in progress.
- Guangzhou Teleader Technology Service Co., Ltd.
  - Research and application of key technologies for automatic testing of Beidou equipment, 2019-2022, in progress.



Figura 21. Colaboração do Laboratório de Referência com várias empresas chinesas.

### Role of promoting technological progress of the industry

"However, many key chip design technologies including ultra-high-speed analog-to-digital converter chips are monopolized by foreign companies such as TI and ADI. **Carrying out research on the key technology of high-speed analog-to-digital converter chips has important value...**"

"Energy efficiency of some published studies has reached the requirements of next-generation applications... In addition, **the team is also one of the few in China that cultivates design talents for analog-to-digital converters**, and some graduates have joined Huawei HiSilicon. **Provide extremely strong support for the domestic scarce high-end chip design talents.**"

**"Has become an important reserve of Huawei HiSilicon's future chip technology"**



### M.Sc. & Ph.D. Graduates

- Join higher education institution

UC San Diego



- IC company



SYNOPSYS®

GOODIX  
汇顶科技

Figura 22. Comentários industriais sobre o desempenho do Laboratório de Referência.

## 11. COLABORAÇÃO INTERNACIONAL E PARCERIAS INDUSTRIAIS

A UM mantém igualmente estreitas colaborações internacionais com instituições como o IMEC (Bélgica), a Synopsys e a Mediatek, e parcerias industriais com empresas como a Qualcomm, Huawei e Amicro Semiconductor, nomeadamente empresas na Grande Baía — Cantão, Hong Kong, Macau, da China, onde os seus graduados em Eletrónica já trabalham atualmente. Estas colaborações envolvem estágios, cursos de formação, consultoria e projetos de I&D, promovendo novas arquiteturas de conversores de dados, *Analog to Digital Converters – ADCs* de alta velocidade e igualmente *chips* que integram Inteligência Artificial (IA) — Figuras 23-24.



Figura 23. Colaboração Internacional e Nacional do Laboratório de Referência.

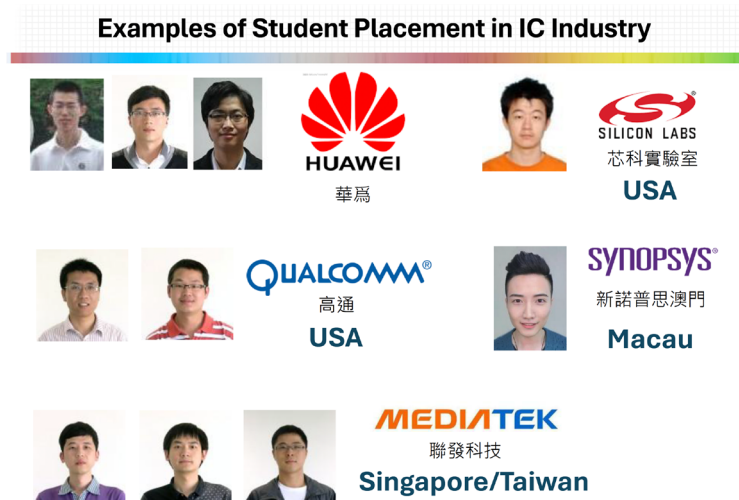


Figura 24. Estudantes a trabalhar na Indústria de Eletrónica Mundial.

## 12. PUBLICAÇÕES EM CONFERÊNCIAS E REVISTAS DE TOPO E PROPRIEDADE INTELECTUAL

A equipa publicou extensivamente em importantes conferências e revistas do IEEE, já referidas como o ISSCC, o JSSC, mas também as *IEEE Transactions on Circuits and Systems I and II*, *Microwave Theory and Technologies*, *Biomedical Circuits and Systems*, *Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, e outras como a *Scientific Reports*, *Nature*, *RSC Lab-on-a-Chip*, *RSC Advances*, para além de cerca de uma dezena de livros na prestigiada Springer. O Laboratório detém também dezenas de patentes industriais nos EUA, China e Taiwan refletindo contribuições significativas para o projeto de CIs — Figura 25.



Figura 25. Publicações em Revistas Internacionais e Livros em prestigiadas editoras.

### 13. INVESTIGAÇÃO EM MICROELETRÓNICA BIOMÉDICA E LAB-ON-A-CHIP

A investigação multidisciplinar da UM integra a eletrónica (*state of the art*) e a biologia para desenvolver dispositivos portáteis de deteção rápida de doenças utilizando a microfluídica digital. As descobertas incluem a análise rápida e a identificação paralela do ADN, microestruturas 3D de cultura de células únicas e sistemas flexíveis de entrega de amostras, culminando no desenvolvimento de dispositivos portáteis para deteção rápida de doenças e na integração multidisciplinar entre a eletrónica e a biologia. Os resultados destas investigações deram origem a variadas publicações em revistas de renome (como por exemplo a *Lab-on-a-Chip* da *UK Royal Society of Chemistry* indicada anteriormente) e igualmente a uma empresa de *spin-off*, a Digifluidic, que contribuiu para os meios de diagnóstico portátil durante a pandemia da COVID-19 — Figuras 26-31.

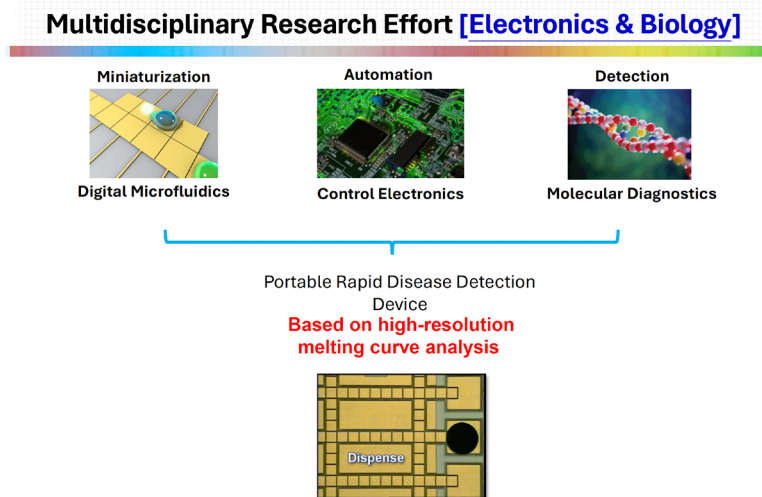


Figura 26. Investigação Multidisciplinar no Laboratório de Referência envolvendo Eletrónica e Biologia.

## Equipment and Facilities [Electronics & Biology]

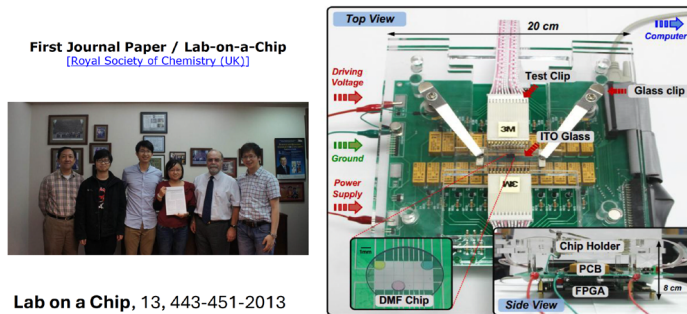
- Wet Lab for biochemical study
- Clean Room for chip fabrication



Figura 27. Equipamentos e Instalações do Laboratório de Biologia e Eletrônica.

## Research Achievements

### An intelligent digital microfluidic system with fuzzy-enhanced feedback for multi-droplet manipulation



First Journal Paper / Lab-on-a-Chip  
[\[Royal Society of Chemistry \(UK\)\]](#)



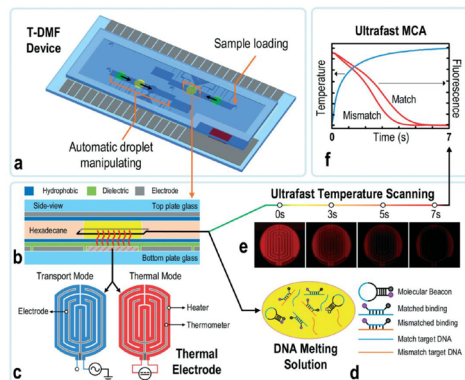
Lab on a Chip, 13, 443-451-2013

Fig. 82. The hardware of the intelligent DMF system includes three operation layers: DMF chip holder (top layer), control electronics (middle layer) and field-programmable gate array (FPGA) board (bottom layer). The DMF chip holder is to mount the DMF chip. The control electronics on the printed circuit board (PCB) is to apply driving voltages (acquire experiential information) to (from) the DMF chip. The FPGA acquires the signal from the control electronics and transfers it to the computer. The entire module is sized to fit human hands for easy mounting the DMF chip and ITO glass with clip and glass clip. The IC test clips connects the DMF chip to the control electronics. The relay array and multiplexers switch the DMF chip between the driving voltages (actuation) and oscillator (sensing).

Figura 28. Resultados de Investigação do Laboratório de Biologia e Eletrônica (I).

## Research Achievements

### Sub-7 second DNA melting curve analysis

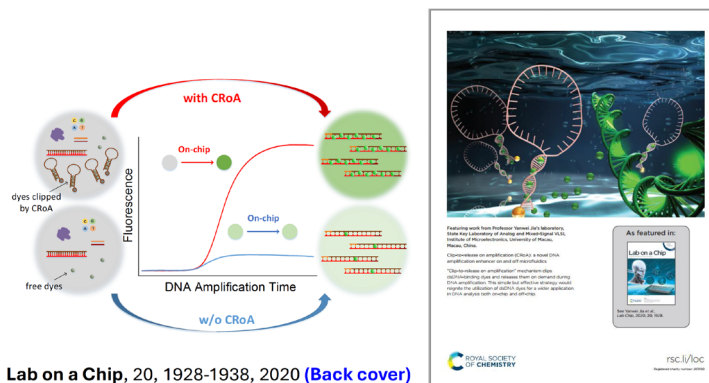


Lab on a Chip, 16, 743-752-2016

Figura 29. Resultados de Investigação do Laboratório de Biologia e Eletrónica (II).

## Research Achievements

### Clip to Release on Amplification



Lab on a Chip, 20, 1928-1938, 2020 (Back cover)

Figura 30. Resultados de Investigação do Laboratório de Biologia e Eletrónica (III).



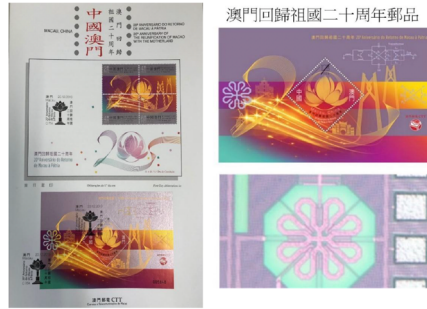
Figura 31. Empresa de *Spin-Off* – Digifluidic.

#### 14. RECONHECIMENTO E IMPACTO LOCAL E INTERNACIONAL

O grupo recebeu várias homenagens locais, através de vários prémios de Ciência e Tecnologia – C&T, atribuídos pelo Fundo para o Desenvolvimento da Ciência e Tecnologia de Macau – FDCT, e foi igualmente reconhecido através da emissão de uma coleção de selos comemorativa dos 20 anos da reunificação de Macau, que continha a imagem dum *chip* projetado no laboratório. Para além disso, teve igualmente reconhecimento regional pelas suas contribuições para o desenvolvimento de *chips* eletrónicos, com colaborações notáveis e empresas *spin-off* na Grande Baía. No âmbito internacional, por exemplo, o grupo de conversores de dados — *ADCs* da universidade é considerado líder mundial, contribuindo significativamente para a indústria de chips e para a reputação científica da China — Figuras 32 e 33.

## Interesting Local Recognition

### Stamp Collection for the 20<sup>th</sup> Anniversary of the Reunification of Macao SAR with China



One of the papers from the SKLab in the **IEEE JSSC** was selected for the Block of this Stamp collection.

Figura 32. Coleção de Selos de Macau celebrando os 20 anos da Região Administrativa Especial de Macau com referência a resultados do Laboratório de Eletrónica (*chip* real com o formato duma Flor de Lótus, folha simbólica de Macau).

## Data & Power Conversion Ics

[2018-2020]

**\*2<sup>nd</sup> Prize 2020 FDCT Technological Invention Award\***

The most important issue:

- The Key of **Emerging Systems** (such as: **5G**, **Artificial Intelligence**, **Internet of Things**, **Automotive Electronics & Biomedicine**, etc.) lies in a stronger signal but lower consumption within the processing inside the chips (integrated circuits).

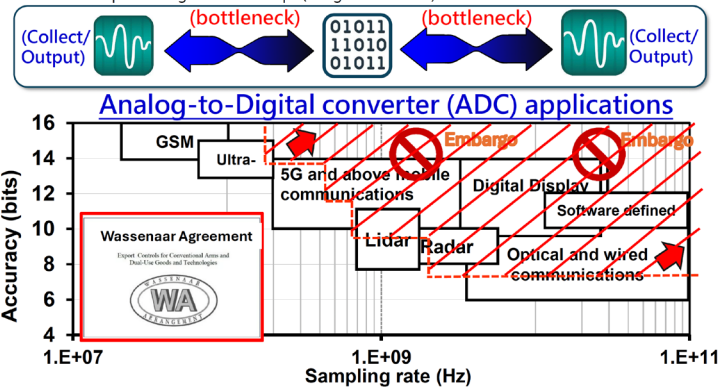


Figura 33. Grupo de Conversores de Dados distinguido local e internacionalmente com vários prémios de Ciência e Tecnologia.

## 15. CENTROS DE INVESTIGAÇÃO REGIONAIS

O laboratório opera igualmente filiais em Hengqin (Zhuhai) no *Zhuhai UM Research Institute – ZUMRI*/Centro de Microeletrónica e também em Hetao (Shenzhen) no *Shenzhen Futian UM Hetao IC Research Institute*, onde são desenvolvidos projetos essencialmente de colaboração industrial com Empresas e Universidades Chinesas na Zona da Grande Baía — Cantão, Shenzhen, Hong Kong, Zhuhai e Macau — Figura 34.

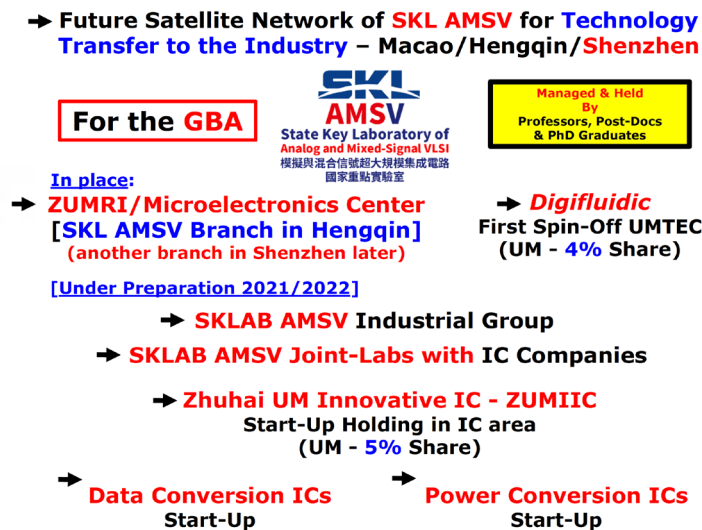


Figura 34. Diferentes Ramos do Laboratório de Eletrónica em Zhuhai e Shenzhen.

## 16. CONCLUSÃO – SUCESSO NOS CHIPS ELETRÓNICOS DE MACAU E EVENTO NOTÁVEL

Macau está a ganhar reconhecimento pela sua capacidade de projeto de *chips* eletrónicos, com projetos e protótipos que documentam e destacam os desenvolvimentos locais com impacto mundial. A excelência dos resultados do Laboratório de Referência de Eletrónica (que detém uma plataforma de testes de circuitos integrados do mais avançado que há no mundo) no projeto de *chips* eletrónicos, tornaram Macau e a sua Universidade famosos mundialmente noutra tipo de *chips*, diferentes das fichas redondas (*chips*) dos casinos, aqueles com forma quadrada ou retangular, como vimos no início. Um evento notável foi a visita do Presidente da China — Xi Jiping a 20 de dezembro de 2014 ao novo *campus* da

UM, e ao laboratório de eletrônica, onde após a nossa apresentação de resultados nos desafiou a Liderar pela Inovação – *Leading by Innovation!* Figuras 35-37.

## Equipment and Facilities

### Chip Measurement Platform



Figura 35. Plataforma de Teste de Circuitos Integrados do Laboratório de Referência de Eletrônica.

## Macau, China



...now, also known for its **Electronics Chips!**

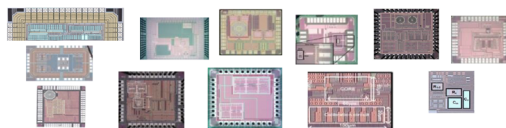
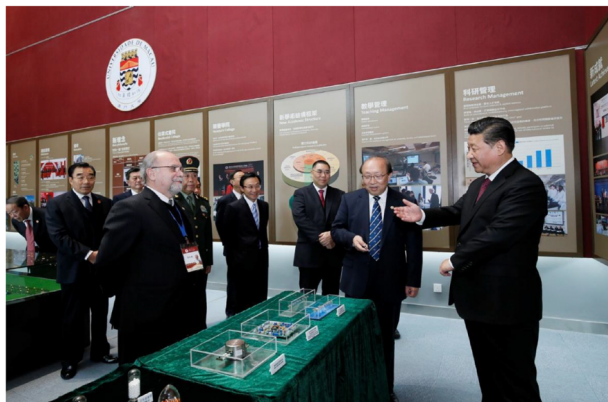


Figura 36. Macau também mundialmente conhecida atualmente pelos seus *chips* eletrônicos – quadrados ou retangulares.

20 dezembro 2014



***"Leading by Innovation"***

Figura 37. Visita do Presidente Xi-Jiping à UM em 21 de dezembro de 2014.

COMUNICAÇÃO APRESENTADA À CLASSE DE CIÊNCIAS  
NA SESSÃO DE 18 DE MARÇO DE 2021

COMUNICAÇÃO RECEBIDA A 10 DE JULHO DE 2025