

## **Microtecnologias no silício no DEI: um projecto de ensino e de I &D**

**José Higinio Correia**

### **Introdução**

A microelectrónica, estando presente numa gama extensa de produtos que vão desde as comunicações aos transportes, passando pelos sectores doméstico, industrial e militar, desempenha cada vez mais um papel fulcral na economia e no desenvolvimento. Hoje em dia é possível integrar num só circuitos funcionalidades equivalentes às de sistemas mais volumosos, o que conduz à miniaturização dos equipamentos, mais elevados níveis de fiabilidade e desempenho, e ainda à redução de custos.

Nos últimos anos deu-se em paralelo com o desenvolvimento da microelectrónica o aparecimento de microtecnologias (Ex.: micromaquinagem, microlitografia, microfabricação), direccionadas para a implementação de microdispositivos (microssensores, microactuadores) no silício. muitas vezes também integrados com electrónica no mesmo substrato de silício. Estas novas tecnologias, em especial a micromaquinagem, revelam elevado potencial para o desenvolvimento de microssistemas (designação para sensores e/ou actuadores integrados com electrónica no mesmo substrato de silício). A miniaturização, o fabrico em larga escala a baixos preços e a portabilidade destas soluções despertou o interesse da indústria de que são exemplo: as telecomunicações, a indústria automóvel e as aplicações biomédicas.

O Departamento de Electrónica Industrial da Escola de Engenharia da Universidade do Minho apostou num projecto de ensino e investigação e em desenvolvimento nesta área a que deu o nome de Microelectrónica e Instrumentação e que actualmente é um dos perfis da Licenciatura em Engenharia Electrónica Industrial. I & D e formação por parte dos docentes interessados nesta área foi iniciada em Setembro de 1999 dando-se inicio a 3 projectos de desenvolvimento com maior incidência na área dos micro-sensores aplicados à biomédica. Mas, começemos por um projecto concluído e que consiste num microespectrómetro em silício para a luz visível.

### **Microespectrómetro em silício para a luz visível**

Equipamento para análise espectral de luz é utilizado tanto na indústria como em laboratórios de análise e investigação. Microssistemas ópticos como os microespectrómetros integrados com microelectrónica prometem novas aplicações.

Dois tipos diferentes de microespectrómetros (sintonizáveis e de matriz) em silício para a luz visível do espectro electromagnético (entre aproximadamente 390 nm até 760 nm de comprimento de onda) foram fabricados. No final, um microssistema óptico (dimensões 4.2 mm por 3.9 mm), baseado num espectrómetro de matriz de dezasseis canais, com electrónica incluída (electrónica de leitura dos fotodíodos, conversão luz-frequência e um *Bus* para interface externo) foi também fabricado (ver Fig. 1).

A cavidade de ressonância Fabry-Perot é usada como filtro óptico para seleccionar diferentes comprimentos de ondas, actuando como um interferómetro. Um interferómetro Fabry-Perot consiste em dois espelhos paralelos e semi-reflectivos separados de uma certa distância. A transmissão óptica através da cavidade resulta numa série de picos de largura estreita quando a distância entre os espelhos é um múltiplo de metade do comprimento de onda da luz incidente. A intensidade da luz filtrada é medida num fotodíodo, também integrado juntamente com a cavidade.

Os dois espectrómetros foram fabricados usando os processos convencionais para fabrico de circuitos integrados e técnicas de micromaquinagem para o espectrómetro sintonizável (ver Fig. 2). O espectrómetro de matriz depois do *standard* fabrico da microelectrónica (bipolar ou CMOS) precisa de um módulo para fabrico da cavidade Fabry-Perot (neste caso a cavidade é um filme fino). Espelhos metálicos foram usados devido à sua alta reflectividade na parte visível do espectro electromagnético. Também a deposição de uma única camada metálica para espelho é preferível à deposição de uma multi-camada de materiais dieléctricos. Espelhos de prata com superfícies anti-rugosas e planares foram realizados.

O fabrico do microinterferómetro Fabry-Perot em silício permite a integração conjunta com a microelectrónica bem como dos fotodíodos. Os espectrómetros realizados em silício podem ser aplicados na análise espectral da luz visível com resolução razoável.

### **Microdetectores de raios-X em silício para imagiologia médica: a radiografia digital**

A detecção de raios-X tem como aplicação fulcral a radiografia médica (importante teste no diagnóstico clínico). O objectivo é obter imagens nítidas e com elevada precisão de defeitos presentes no corpo humano. Estas imagens são produzidas como consequência da variação da intensidade da radiação depois de passar através do alvo a estudar. As diferenças correspondem à transparência ou opaquicidade do corpo analisado à radiação X. Geralmente, as imagens são gravadas numa película fotográfica em termos de zonas com diferentes tonalidades (de claro passando pelo cinzento até ao escuro).

Na maior parte das aplicações com raios-X (e.g. diagnóstico médico), resoluções espaciais inferiores a um milímetro são necessárias bem como a dose de radiação emitida pela fonte deve estar no mínimo suportado pelo corpo humano (em média 0.1 R/por semana). Com estes requisitos pretende-se o desenvolvimento de um novo tipo de microcâmara em silício para a detecção de radiação X. Pensando em termos da formação de uma imagem, uma matriz nxn destas microcâmeras seria suficiente, cumprindo os requisitos de resolução espacial inferior a um milímetro e permitindo a redução da dose de radiação aplicada ao paciente (um dos factores críticos). Se integrarmos com estas microcâmeras a electrónica de leitura do sinal adquirido e conversão analógico-digital, ter-se-ia como saída um sinal digital que poderia ser visualizado num display e gravado digitalmente em memória. Permitindo mais tarde uma série de manipulações usando técnicas de processamento de imagem convencionais para um exame mais detalhado da radiografia o que agora com a radiografia analógica não é possível. Ver protótipo na Fig.3.

## **Microssistema laboratorial em silício para análise de fluidos biológicos: um microlaboratório num chip**

A micromaquinagem permite o fabrico de sistemas de microfluidos, de reduzidas dimensões (milímetros e até micrómetros) com elevada precisão com microcanais e microreservatórios (desde picolitro até nanolitro), com interesse nas áreas da análise química, toxicologia (autópsias) e diagnóstico médico local. As vantagens são: análise diversificada para diferentes elementos bioquímicos usando o mesmo chip ou não, a quantidade física da amostra recolhida é ínfima bem como os reagentes a utilizar são na mesma proporção (reduzindo custos), evitar numa primeira fase a análise laboratorial (geralmente demorada) permitindo à partida um primeiro diagnóstico e antecipação na prescrição de medicamentos por parte dos profissionais de saúde.

O objectivo deste projecto é implementar um microlaboratório para análise de fluidos biológicos (urina, sangue, saliva e suor). O microssistema é composto por electrónica de leitura do detector óptico integrado (tecnologia CMOS), dois microcanais para amostra, reagente e respectivo misturador (técnicas de micromaquinagem e *wafer-bonding*). Electroforese capilar (EC), uma técnica de separação clássica baseada na diferente velocidade de migração de iões e moléculas com carga (e.g. biomoléculas) numa solução quando é aplicado um forte campo eléctrico, é usada para separação de iões na amostra e decorre em capilares (microcanais) longos (entre 100-200  $\mu\text{m}$ ) nos quais se encontram electrodos nas extremidades. A análise da amostra é feita em pleno movimento do fluído (amostra+reagente e após EC) com o recurso ao método de absorção óptica. Fotodíodos integrados por debaixo do capilar medem a intensidade da luz filtrada que passou pelo fluído. A microelectrónica de aquisição do sinal vindo dos fotodíodos coloca o resultado final num display ou computador pessoal. Calibração do processo de análise, limpeza de desperdícios e reutilização do microssistema são algumas das facilidades contempladas. Ver protótipo na fig. 4.

## **Antenas do tamanho de um chip**

Desenvolvimento de micro-antenas em substratos de baixa constante dieléctrica para reduzir as perdas mas ao mesmo tempo poder integrar circuitos electrónicos no mesmo substrato. Para obedecer a estes requisitos usam-se substratos de silício de elevada resistividade (HRS) e de Corning Pyrex #7740 de vidro. O primeiro protótipo foi desenhado para a frequência de operação na banda dos 5GHz ISM onde aplicações como HIPERLAN e IEEE 802.11a estão localizadas. Dois protótipos foram fabricados para funcionar em 5.7 GHz (HRS) e 5.995 GHz (Pyrex). A antena fabricada no substrato de silício HRS, tem uma área de 8 mm<sup>2</sup>, com uma largura de banda de 90 MHz e um ganho de 3 dBi (ver Fig.5). Estas características preenchem os requisitos para as comunicações sem fio de curto alcance e para a banda de frequências pretendida, 5 GHz ISM.

Actualmente, está-se a desenhar um novo tipo de micro-antenas com uma geometria mais complexa e inovadora de maneira a minimizar o tamanho e permitir uma melhor integração com a parte electrónica.

## **Projecto de ensino**

Os alunos do 4º da LEEI ao escolherem o perfil de Microelectrónica e Instrumentação começam por adquirir formação básica na área da tecnologia dos semicondutores seguido de formação em microelectrónica digital e analógica finalizando os seus estudos no 5º ano com o estudo de técnicas de microssensores e microactuadores. Na disciplina de Projecto do 5º ano a realização de alguns mini-projectos experimentais nesta área é possível.

1. Desenvolvimento de um Bus digital de interface só com 2 linhas (*Clock/Data*) para microssensores e actuadores, baseado no Código Manchester e usando linhas *open-drain*. Este Bus digital permite transmissão de dados digitais, semi-digitais e analógicos. Actualmente este chip encontra-se em fase de fabrico.
2. Desenvolvimento de um interface, para fotodíodos, com conversão A/D Sigma-Delta, incluindo pré-amplificação para correntes muito baixas na entrada; a saída pode ser em *bitstream* ou sinal digital.
3. Implementação de um sistema biométrico para detecção de impressão digital e respectiva validação. Este chip é inovador pois incorpora memória para armazenamento de dados e processamento.
4. Utilização da linguagem VHDL para a concepção a alto nível de um microcontrolador de 8 bits com algumas funções específicas.
5. Desenvolvimento de uma máquina de estados com funções próprias para sensores e actuadores integrados no mesmo chip, dando origem a um microssistema.

## **Conclusões**

Na próxima década a aposta nas microtecnologias será um factor decisivo na conquista do espaço tecnológico e económico e o DEI espera formar Engenheiros para competir neste novo sector tendo em vista não só o mercado nacional mas também a liberalização do mercado Europeu e os novos desafios que se aproximam.

## **Agradecimentos**

Aos meus alunos de Doutoramento: Gerardo Rocha, Graça Minas e Paulo Mendes e aos alunos da LEEI que optaram pelo perfil de Microelectrónica e Instrumentação e que sempre demonstraram interesse e curiosidade no estudo das microtecnologias no silício.

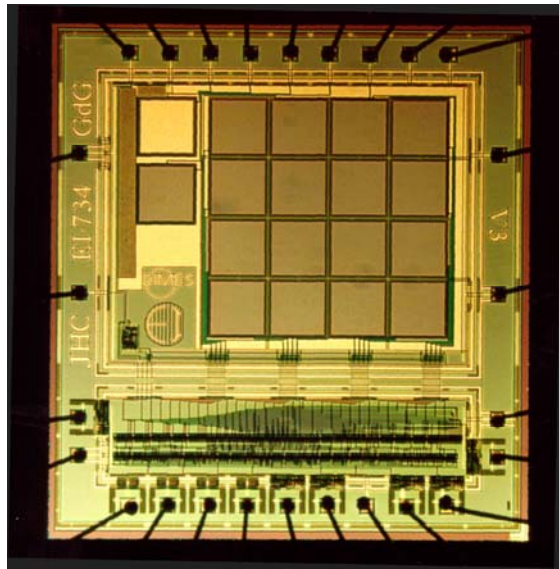


Fig. 1- Espectrómetro de matriz de dezasseis canais, com electrónica incluída (electrónica de leitura dos fotodíodos, conversão luz-frequência e um *Bus* para interface externo).

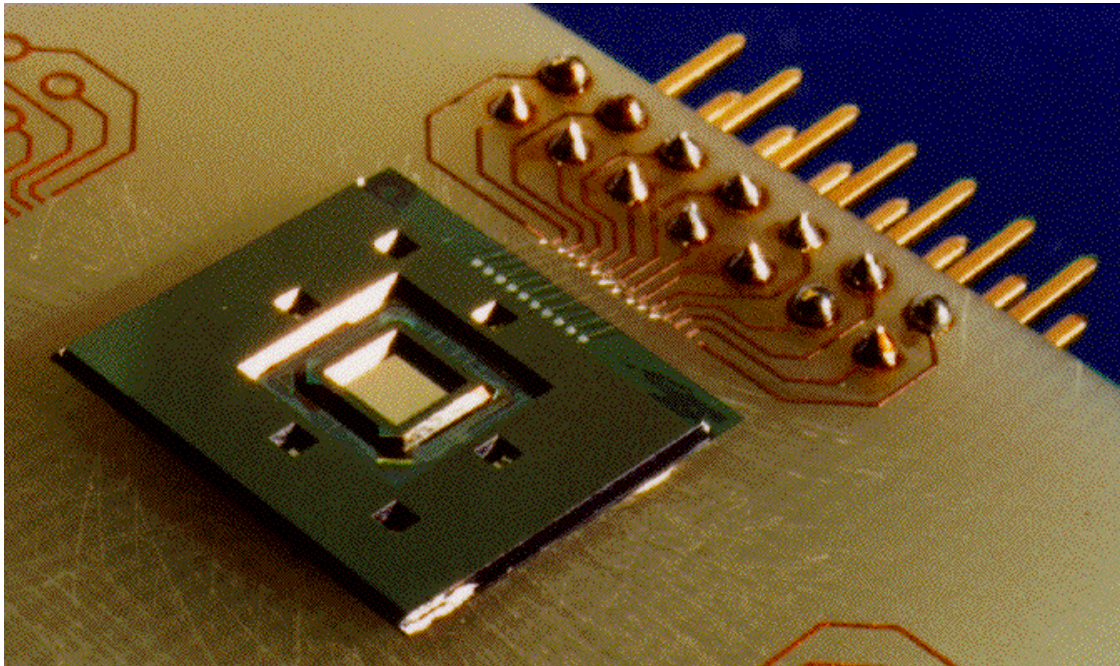


Fig. 2- Espectrómetro sintonizável micromaquinado em silício para a luz visível.

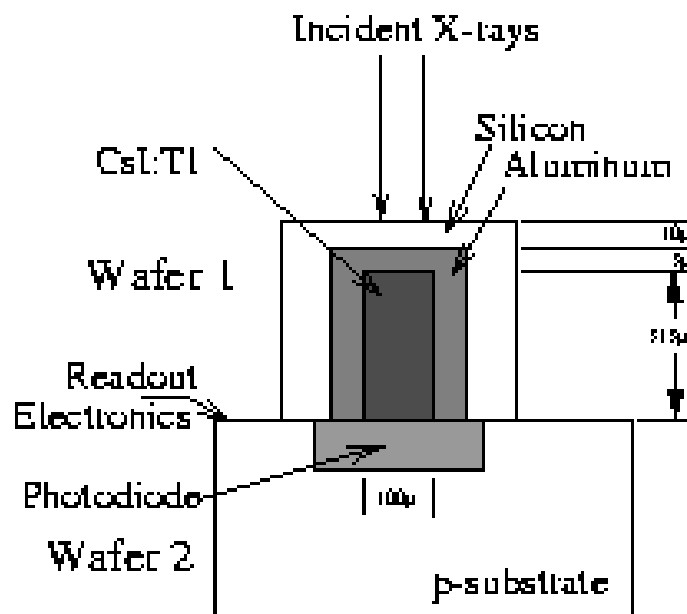


Fig. 3- Corte de um micro-canal para detecção de raios-X para radiografia digital.

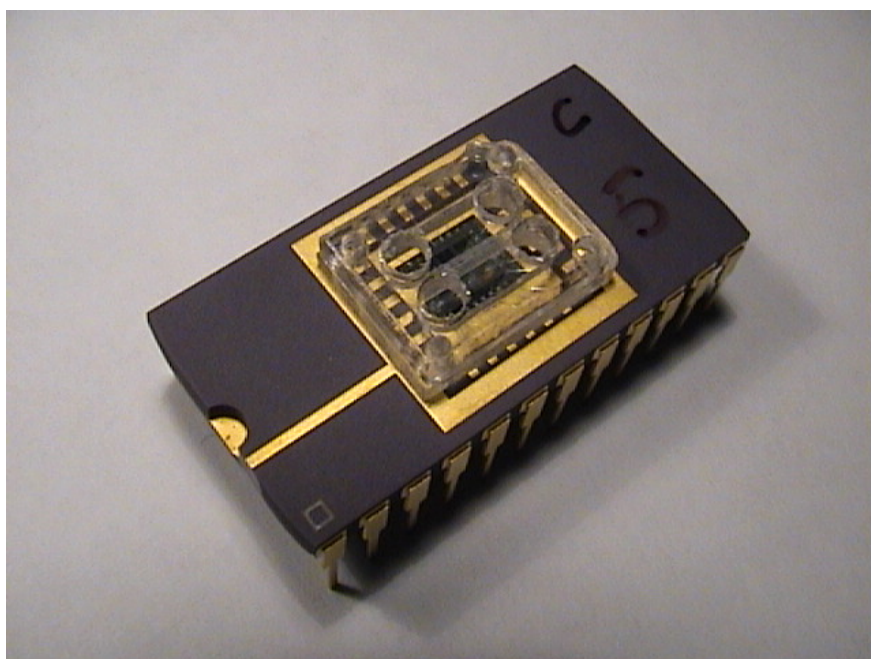


Fig. 4- Lab-on-a-chip para análise da concentração de ácido úrico na urina de seres humanos.



Fig. 5- Micro-antena a operar em 5.7 GHz (área de 8 mm<sup>2</sup>).