

MEMS (MICRO ELECTRO-MECHANICAL SYSTEMS) UMA ÁREA EXTRAORDINARIAMENTE INTERDICCIPLINAR

Manuel M. P. Reibold – manolo@unijui.tche.br

Mauricio de Campos – campos@unijui.tche.br

Jonatam R. R. Zientarski – jonatanz@detec.unijui.tche.br

Paula K. P. Vieira – perez@detec.unijui.tche.br

UNIJUI - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul

DeTec – Departamento de Tecnologia

Rua São Francisco, 501, Bairro São Geraldo.

CEP 98700-000– Ijuí - RS

Rodrigo L. C. Mancuso – rlcmancuso@brturbo.com.br

UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Av. Bento Gonçalves, 9500

CEP 91501-970 – Porto Alegre, RS

Resumo: *Uma área que desponta, nos últimos 20 anos, com interdisciplinaridade, é a área de dispositivos micro-eleto-mecânicos ou MEMS. Estes se destacam, como resultado de mais uma estratégia para produzir movimento através da deformação de estruturas. É mais uma tentativa de dominar o movimento e conseqüentemente a aparência na natureza. Cada vez mais o homem se volta para o mundo microscópico. Trabalhar com MEMS implica em direcionar o pensamento para as filosofias de miniaturização e de integração, o que exige professores das mais variadas áreas do conhecimento como: matemática, física, química, mecânica, elétrica, civil, informática, ciência dos materiais, e outras. Estes dispositivos possuem grandes perspectivas de aplicação em áreas como: telecomunicações, biotecnologia, agropecuária, meteorologia, automobilismo, aviação e muitas outras. Todas elas consolidam um universo interdisciplinar. Este trabalho pretende mostrar que os MEMS são a oportunidade esperada para praticar a interdisciplinaridade nos cursos de engenharia, tanto ao nível de graduação como de pós-graduação. MEMS é uma área que se torna proeminente, pois permite extravasar a concepção e criatividade, tanto de professores e alunos como profissionais das diferentes áreas, na busca de novas aplicações dessa tecnologia.*

Palavras-chave: *interdisciplinaridade, micro-sistemas, micro-máquinas, atuadores, sensores.*

1. INTRODUÇÃO

A engenharia é o esplendor do engenho quando posto em prática e é imbuído, ao mesmo tempo, em conhecimento das mais variadas áreas do saber. Há um ditado popular que diz: “aquele que pensa saber muito sobre um assunto específico nem disso sabe”. Essa é a consigna da excessiva especialização. Por muitos anos a palavra especialização foi mal compreendida. As engenharias se especializaram esquecendo que em torno delas havia um mundo que clamava pelas mais variadas aplicações e para as quais, eram necessários grupos com conhecimentos multidisciplinares. Talvez devêssemos tirar o chapéu para Bill Gates, pois este fez um produto específico cujo uso e aplicações consagram-se pela sua popularidade, pois qualquer um o utiliza. Qual área do conhecimento não utiliza, hoje, o software WINDOWS?

Claro, não há necessidade de responder, mas considerar que nos mostrou o despertar de uma nova forma de pensar os produtos.

Esse é o desafio da nova reforma curricular: identificar nichos profissionalizantes que permitam congregar professores das mais diferentes especialidades, consolidar grupos interdisciplinares, e criar cursos onde a criatividade e o engenho seja alimentado pela diversidade de conhecimentos. Um engenheiro, hoje, necessita além de dominar os conceitos da sua especialidade, os das áreas que estão envolvidas no produto final. Este fato é constatado nas novas tecnologias de ponta que estão emergindo como é o caso de micro e nano estruturas. O estudo desenvolvido neste trabalho se baseia nos MEMS.

2. MEMS

Após o sucesso alcançado pela micro-eletrônica na década de 80, e sabendo-se que a evolução da capacidade de integração, confiabilidade e desempenho de CIs chegaram a um estado de saturação nestas primeiras duas décadas do século XXI, os micro-sistemas, a partir dos anos 90, despertaram os interesses do mercado mundial.

Samuel Goldwyn, um dos grandes magnatas de Hollywood, recomendava, ironizando, que “nunca se deve fazer previsões, principalmente sobre o futuro”. Goldwyn chamou Leonardo Da Vinci e Julio Verne de loucos, esquecendo-se de que até hoje, o helicóptero e o submarino, são máquinas que não foram superadas. Fato interessante é acreditar que Richard P. Feynman nunca visitou um restaurante chinês, pois caso o tivesse feito teria encontrado ocasionalmente nos biscoitos chineses da fortuna, algum provérbio humorístico do tipo: “prever é difícil, e mais ainda o futuro”.

Feynman em 1959 chegou à conclusão, após realizar investigações questionando baixas temperaturas e pressões elevadas, que um campo interessante de pesquisa era a miniaturização de sistemas. O espaço entre átomos tinha que ser ocupado. Nesse momento surgiam os MEMS. Micro-sistemas (denominação Européia) ou MEMS - Sistemas Micro-Eleto-Mecânicos (denominação norte-americana) ou micro-máquinas (denominação japonesa) são sistemas muito pequenos ou sistemas compostos de pequenos componentes, em dimensões na ordem de 10^{-6} metros.

Usualmente os MEMS são feitos de silício (Si). As tecnologias para sua fabricação são as mesmas utilizadas na microeletrônica, tais como: fotolitografia, remoção do substrato pela face anterior ou frontal, remoção do substrato pela face posterior, remoção de camadas sacrificiais presentes na superfície do substrato, *scream* e liga. Seu baixo custo é garantido quando milhões de microestruturas são fabricadas num único *wafers* através de técnicas de “processamento em pacote” (SENTURIA:1992).

2.1 O desafio

Dominar o movimento tem sido o eterno desafio do homem. Sua superação é premente requisito para alterar a aparência da natureza. Os MEMS são dispositivos que podem ajudar no êxito dessa estratégia. Um dos maiores expoentes é o *comb-drive*. As propriedades atuantes e sensíveis do mesmo, isoladas ou combinadas, resultam na concepção de micro-dispositivos capazes de gerenciar a aparência dos macro-sistemas. Um exemplo de seu tamanho é mostrado na Figura 1.



Figura 1. Comparação dimensional entre um ácaro e um MEMS.

3. O COMB-DRIVE

Idealmente, o *comb-drive* é um sistema micro oscilador. Sua finalidade é converter energia elétrica em mecânica ou vice-versa, o que lhe permite desempenhar-se como atuador ou como sensor. Sua estrutura física é composta de: estrutura digital, corpo de “vai e vem” e vigas: isostáticas e/ou hiperestáticas. A direção de deslocamento da estrutura digital complementa o nome do *comb-drive* como: lateral, longitudinal ou planador. Os diferentes arranjos estruturais obtidos pela distribuição e entrelaçamento da estrutura digital originam capacitores, cujo parâmetro característico varia segundo distância entre placas, área das placas paralelas e permissividade elétrica entre as mesmas, o que resulta na alteração da vibração mecânica ou da diferença de potencial elétrico no terminal de saída. Seu modelo matemático obedece a uma equação diferencial ordinária de segunda ordem e sua solução se baseia na Lei de Hooke, na Segunda Lei de Newton e nos estudos de Charles Coulomb. A construção de um *comb-drive* obtém-se utilizando técnicas como: remoção do substrato pela face anterior ou frontal, remoção do substrato pela face posterior e remoção de camadas sacrificiais presentes na superfície do substrato. Os *comb-drives* como atuadores permitem a implementação de relés e pinças. Como sensores constroem-se acelerômetros. Quando combinado atuador e sensor concebem-se estruturas mais complexas como: osciladores, filtros, sintonizadores, *mixers*, etc (TANG:1983).

3.1 O *Comb-drive* de Atuação Longitudinal

O *comb-drive* é denominado “de atuação longitudinal” quando seu movimento acompanha o comprimento dos dentes. É utilizado quando se deseja oscilações de grandes amplitudes. Seu estudo é clássico devido à força eletrostática não depender do comportamento do deslocamento. A Figura 2a mostra a arquitetura mais simples de um *comb-drive* de atuação longitudinal. Os parâmetros característicos que definem seu comportamento são: massa (m), coeficiente de atrito (b), coeficiente de elasticidade (K) e capacitância (C) a qual está vinculada a força eletrostática aplicada externamente. Esses parâmetros encontram-se relacionados no diagrama em blocos da figura 2b (NISE:1994).

a = aceleração
m = massa do corpo

m/s² (metro por segundo quadrado)
kg (quilos)

A contribuição de Hooke e Newton verificou que todo corpo quando deformado produz deslocamento, o qual é função dos parâmetros característicos do próprio corpo. Entretanto, necessita-se de força para provocar essa deformação e conseqüentemente haver deslocamento.

Assim, Charles Coulomb (1736-1806) investigou a força que uma carga elétrica exerce sobre outra e os seus resultados e de muitos outros se resume da seguinte forma: “A força que uma carga elétrica puntiforme exerce sobre outra carga puntiforme é inversamente ao quadrado da distância entre as cargas e é proporcional ao produto mesmas, tornando-se repulsiva se as cargas tiverem o mesmo sinal e atrativa se tiverem sinais opostos”. Esta lei, aplicada a um volume de cargas elétricas, permite estabelecer a expressão (3).

$$F = \frac{1}{4 \pi \xi} \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad (3)$$

onde:

Q1, Q2 = cargas elétricas

C (Coulomb)

ξ = permissividade elétrica

C²/N m² (Coulomb quadrado por Newton e metro quadrado)

r = distância entre as cargas

m²

A expressão (3) é rescrita, convenientemente para uma distribuição superficial de cargas, conforme mostra a expressão (4).

$$F = \frac{1}{2} V^2 \frac{d}{dr} C (r) \quad (4)$$

onde:

V = diferença de potencial elétrico

V (volts)

C = capacitância

F (farad)

As expressões (1), (2), (3) e (4) mostram que a força é uma função que expressa a relação entre as características do sistema, as características do seu movimento e ainda, as características da sua vizinhança. A integração destes conceitos, em estruturas dotadas de massa e elasticidade, gera dispositivos ressonantes capazes de provocar deslocamento oscilatório quando submetidos à diferença de potencial elétrico produzindo força eletrostática.

Aplicando a Segunda Lei de Newton e utilizando o diagrama da figura 2b, estabelece-se o modelo matemático que relaciona os parâmetros, anteriormente citados, numa equação diferencial ordinária de segunda ordem, a qual descreve o deslocamento x(t) do *comb-drive* de atuação longitudinal e é conhecida como “equação de movimentação translacional e deslocamento de um *comb-drive* de atuação longitudinal”, expressa através de (5).

$$m \frac{d^2}{dt^2} x(t) + b \frac{d}{dt} x(t) + kx(t) = F_e(t) \quad (5)$$

Fazem parte da expressão (5) a massa da parte móvel (m), o coeficiente de atrito viscoso (b), a constante de elasticidade, o deslocamento (x(t)) e a força eletrostática (F_e(t)) e obedecem as expressões (1), (2), (3) e (4) correspondentemente (OGATA:1982). Sua análise permite verificar o comportamento do deslocamento, o qual pode apresentar-se oscilando, amortecido criticamente, super-amortecido e sub-amortecido, segundo seja a variação dos parâmetros característicos. Tal fato leva a uma análise mais crítica da expressão (5). Seu resultado permitirá projetar microestruturas das formas mais variadas para as mais diferentes aplicações, como é o caso particular mostrado na Figura 4.

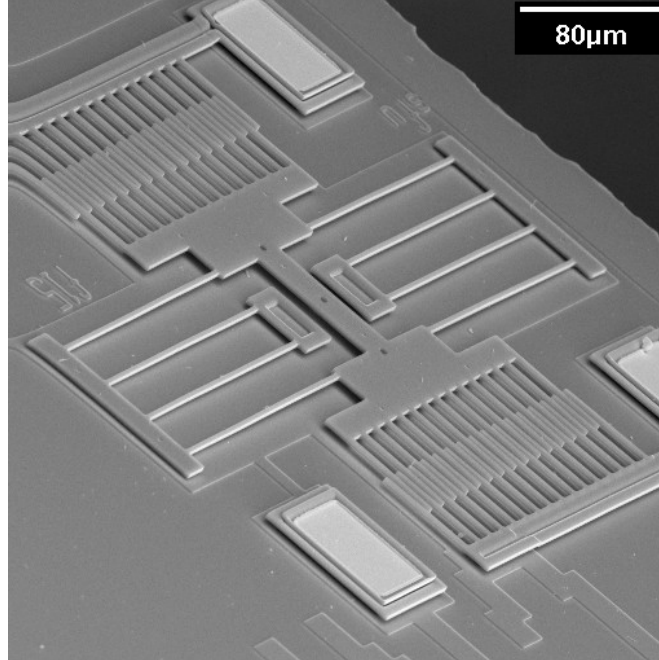


Figura 4. Estrutura “comb-drive” implementada como ressonador.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como outras tecnologias emergentes, cujo futuro apresenta um potencial extraordinário de aplicações, os MEMS tendem a elevar o nível de excitação e publicidade. Esse excessivo otimismo é moderado através da reflexão da força e capacidade da tecnologia sobre a realidade. Também deve considerar-se que é natural ao homem a precaução com tudo aquilo que é novo, pois uma nova topologia, inicialmente, apresenta-se estranha.

Entretanto, companhias de países de primeiro mundo já incorporam soluções MEMS nos seus sistemas mais complexos, mudando simultaneamente a educação e aumentando o grau confidencial dos seus produtos. Será que países em desenvolvimento como Brasil, não devem acompanhar paralelamente a investigação, pesquisa e implementação de soluções com essa tecnologia de ponta?

Com relação ao futuro da tecnologia MEMS no Brasil, pode-se dizer que a quantidade de engenheiros e cientistas, formados pelas universidades nessa área, precisa ser incrementada. O número de profissionais, atualmente, é pequeno quando comparado ao crescimento de projetos necessários à indústria. O grupo de pesquisa instalado no país, talvez, se reduz a um número de quatro, os quais são resultados do custo da tecnologia e do tempo de preparação de um profissional dessa área. Nos Estados Unidos é de 10 anos. Entretanto como toda nova tecnologia a tendência é diminuir os custos e melhorar a qualidade educacional.

É o momento de conscientizar-se que não há como esperar mais a chegada dos produtos estrangeiros ao mercado nacional, para recém começar a entender o que foi feito por pesquisadores estrangeiros. É o momento e a oportunidade ideal para conceber tecnologia e não ser unicamente usuário. Este é o ponto chave, pois a existência de grupos interdisciplinares, tanto nas universidades como nas empresas, permitirá a transição do estágio de simples consumidores ao estágio de produtores, no qual se concebe tecnologia e permite que o país participe da mesa onde as decisões são a nível internacional. Isso é o que todo país subdesenvolvido ou em desenvolvimento almeja.

Os aspectos mencionados anteriormente motivam e justificam a tecnologia MEMS como uma área estratégica para implementação de grupos multidisciplinares, que permitam a criação de cursos a níveis de graduação e pós-graduação.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Vice-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão pela concessão da bolsa de iniciação científica do programa PIBIC/UNIJUÍ.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de controle moderno**. Rio de Janeiro, Prentice Hall Inc., 1982.

NISE, Norman. **Control system engineering**. Boston, Benjamin/Pummings Publishing Company Inc., 1994.

SENTURIA, Stephen. **Microsystem design**. Boston, Kluwer Academic Publishers, 1992.

TANG, William, NGUYEN, Tu-Cuong and HOWE, Roger. **Laterally driven polysilicon resonant microstructures**. Sensors and Actuators, vol 20, 1989. p 25-32.

MEMS (MICRO-ELECTRO-MECHANICAL SYSTEMS) AN EXTRAORDINARILY INTERDISCIPLINARY AREA

***Abstract:** An area that blunts, in the last 20 years, as interdisciplinary, it is MEMS or micro-electro-mechanical systems. These they stand out, as a result of one more strategy to produce movement through the deformation of structures. It is one more attempt of dominating the movement and consequently to dominate the appearance in the nature. However, instead of dominating the macroscopic world the man goes back more and more to the microscopic world. To work with MEMS implicates in addressing the thought for the miniaturization philosophies and of integration, what demands teachers of the most varied areas of the knowledge as: mathematics, physics, chemistry, mechanics, electric, civil, computer science, science of the materials, and other. We have also to consider that these devices possess great application perspectives in areas as: telecommunications, biotechnology, farming, meteorology, motoring, aviation and many others. All those areas consolidate an interdisciplinary universe. This work intends to show that MEMS is the expected opportunity to practice the interdisciplinary in the engineering courses, so much at the graduation level as pos-graduation degree. MEMS is an area that if it turns prominent, because it allows to extravagate the conception and creativity, so much of teachers and students as professionals, in the search of new applications of technology.*

***Word-key:** interdisciplinary, micro-systems, micro-machines, actuators, sensors.*