

INPE-5348-PRP/161

**FABRICAÇÃO DE SENSORES E DISPOSITIVOS
MICROMECAÑICOS DE SILÍCIO**

José Roberto Sbragia Senna

**INPE
São José dos Campos
1991**

**SECRETARIA DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

INPE-5348-PRP/161

**FABRICAÇÃO DE SENSORES E DISPOSITIVOS
MICROMECAÑICOS DE SILÍCIO**

José Roberto Sbragia Senna

Proposta de projeto técnico-científico - FINEP

Em 11/07/88

**INPE
São José dos Campos
1991**

CDU: 531768

Palavras-Chave: Sensores; silício; micromecânica

1. TÍTULO DO PROJETO

F, A, B, R, I, C, A, C, ã, o, d, e, s, e, n, s, o, r, e, s, e, d, i, s, p, o, s, i, t, i, v, o, s, m, i, c, r, o, m, e, c, â, n, i, c, o, s, d, e, s, i, l, i, c, i, o,

2. ÁREA DE CONHECIMENTO (UTILIZAR CLASSIFICAÇÃO DO CNPq)

ÁREA

SUB-ÁREA

3. TIPO DE PESQUISA (OBSERVAR AS DEFINIÇÕES NO ITEM 6)

PESQUISA BÁSICA

PESQUISA APLICADA

DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

X

4. COORDENADOR DO PROJETO

NOME

J, O, S, E, R, O, B, E, R, T, O, S, B, R, A, G, I, A, S, E, N, N, A,

ENDEREÇO, TELEFONE

L, A, S, - T, E, L. (0, 1, 2, 3) 2, 2, 9, 9, 7, 7, R, 2, 8, 1

I, N, S, T, I, T, U, T, O, d, e, P, E, S, O, U, I, S, A, S, E, S, P, A, C, I, A, I, S,

C. P. 5, 1, 5, S. J. D. O. S, C, A, M, P, O, S, - S, P,

5. DEFINIÇÕES

No item 3 "Tipo de Pesquisa", colocar um "X" em uma das três alternativas, conforme as seguintes definições:

Pesquisa Básica: refere-se a projeto cujo objetivo é derivado da própria necessidade de ampliação do conhecimento científico, sem preocupação imediata de aplicação prática dos resultados.

Pesquisa Aplicada: projeto dirigido ao atendimento de uma demanda tecnológica e/ou social, potencial ou efetiva.

Desenvolvimento Experimental: quer dizer projeto de investigação sistemática, visando a produção de novos materiais, produtos e equipamentos, a determinação de novos processos, sistemas e serviços e seu aperfeiçoamento.

FORMULAR O PROBLEMA E JUSTIFICAR O PROJETO, INDICANDO SUA CONTRIBUIÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DA ÁREA DE CONHECIMENTO, SUA RELAÇÃO COM PROGRAMAS NACIONAIS E SETORIAIS DE DESENVOLVIMENTO, SUA RELAÇÃO COM PROJETOS SEMELHANTES REALIZADOS NO PAÍS E NO EXTERIOR, SUA RELAÇÃO COM O PLANO DIRETOR DA UNIDADE EXECUTORA. INCLUIR COMENTÁRIOS SOBRE A BIBLIOGRAFIA PERTINENTE

O advento da tecnologia planar do Silício nos países desenvolvidos se fez acompanhar de perto pela pesquisa e desenvolvimento de dispositivos, primordialmente sensores, que incluem microestruturas tridimensionais sensíveis a grandezas como: pressão, aceleração, calor, fluxo de fluídos, etc.

A fabricação desses dispositivos, a partir de lâminas de Silício, inclui, além das técnicas usuais de fabricação planar de microeletrônica, as técnicas de corrosão química anisotrópica do Silício e de soldagem hermética Si/Si e Si/outros materiais, para permitir a microusinagem e a montagem de estruturas, tais como: membranas, cantileveres e pontes de comprimentos e larguras da ordem de milímetros ou frações, e espessura da ordem de microns. Essas técnicas permitem tirar vantagem, em micromecânica, dos mesmos fatores que levaram ao sucesso da microeletrônica: abundância de material de alta pureza e perfeição cristalográfica, para otimizar as propriedades mecânicas dos dispositivos, da mesma maneira que o foram as propriedades eletrônicas; definição de geometrias por fotolitografia e filmes finos, que permite a realização de estruturas de alta miniaturização e precisão; e fabricação em paralelo ("batch processing"), de um grande número de dispositivos idênticos em cada lâmina de Silício processada. Finalmente, como os materiais e processos são compatíveis, é possível a integração, numa mesma pastilha, do sensor e da microeletrônica de processamento do sinal.

Um panorama técnico dessa área é dado pelas resenhas listadas na bibliografia (Refs. 1-3).

Verificamos que o esforço nacional por atingir capacitação e independência tecnológicas na área de microeletrônica, ainda que abrangente, não inclui o domínio das técnicas necessárias ao desenvolvimento de sensores e dispositivos micromecânicos a semicondutor. Por outro lado, a importância tecnológica e econômica de sensores de Silício, que pode ser avaliada por um exame da literatura do ramo recente (em especial Refs. 47-52 da bibliografia), reforça a necessidade do esforço específico nessa área, ao qual nos propomos e através do qual já obtivemos os primeiros resultados existentes na literatura nacional (Ref. 27).

Assim, o presente projeto visa não somente a suprir a demanda por uma engenharia nacional de sensores, expressa na própria criação do Laboratório Associado de Sensores dentro do INPE, um Instituto onde sensores são aplicáveis na área de caracterização e testes de sistemas aeroespaciais, como também a cobrir uma área de capacitação ainda não suprida no país, e com aplicações que transcendem a viabilização de sensores (ver a esse respeito, além da Ref. 1, as Refs. 44-46).

No aspecto de formação de pessoal, a proximidade física com o ITA, que tem uma tradição de excelência na formação de engenheiros e cientistas, e com membros do corpo docente e discente com interesse em dispositivos semicondutores, permitirão, dentro de uma colaboração com essa instituição, que alunos e professores tenham contato e

FORMULAR O PROBLEMA E JUSTIFICAR O PROJETO, INDICANDO SUA CONTRIBUIÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DA ÁREA DE CONHECIMENTO, SUA RELAÇÃO COM PROGRAMAS NACIONAIS E SETORIAIS DE DESENVOLVIMENTO, SUA RELAÇÃO COM PROJETOS SEMELHANTES REALIZADOS NO PAÍS E NO EXTERIOR, SUA RELAÇÃO COM O PLANO DIRETOR DA UNIDADE EXECUTORA. INCLUIR COMENTÁRIOS SOBRE A BIBLIOGRAFIA PERTINENTE

participação efetiva nos processos de fabricação de dispositivos. Para esse fim, temos o compromisso de atrair, para realizar projetos em nosso laboratório, tanto estudantes do ITA, realizando trabalhos de tese sob nossa orientação, como professores que manifestem interesse em orientar trabalhos de seus estudantes aqui.

DESCREVER AS FINALIDADES GERAIS E ESPECÍFICAS DO PROJETO

Globalmente, este projeto visa a criação de capacitação nacional no projeto e fabricação de sensores e dispositivos micromecânicos de Silício, que serão obtidos através dessas atividades na obtenção dos dispositivos específicos descritos a seguir, e pela pesquisa em processos necessários à sua fabricação. A capacidade formadora de recursos humanos será garantida pelo envolvimento de estudantes de graduação e pós-graduação nessas atividades, através de trabalhos de tese. Será mantido o contato com a indústria e usuários potenciais dos dispositivos, para que as características de projeto dos protótipos sejam escolhidas sempre que possível dentro de especificações realísticas, comprometidas com as necessidades de aplicação dos dispositivos.

Em termos de obtenção de dispositivos, os objetivos específicos dentro do período de aplicação dos recursos são representativos das estruturas obtíveis em micromecânica de Si (membranas, cantileveres, pontes, de Si e dielétricos) e das grandezas que se podem sensoriar com esses dispositivos (pressão, aceleração, fluxo, radiação):

- 1) Fabricação completa (ou seja, a partir de lâminas de Si), de sensores de pressão piezoresistivos, para medida de pressão nos modos absoluto e "gauge" (um lado fechado por uma câmara de referência ou aberto para a atmosfera). Em particular, fornecimento de protótipos, para teste de aplicação em sensores de profundidade, a uma indústria interessada. Fase atual: um protótipo de pesquisa em caracterização (Ref. 27), e um segundo em projeto.
- 2) Fabricação completa de acelerômetros piezoresistivos de Silício, visando obter dispositivos testados e qualificados pelo Laboratório de Integração e Testes do INPE, para uso em bancadas de teste de aceleração e vibração na indústria mecânica e aeroespacial. Fase atual: projetadas as máscaras da 1ª versão, de pesquisa.
- 3) Fabricação de fluxômetros por transferência de calor (Refs. 37,38).
- 4) Fabricação de bolômetros com isolamento térmico por membrana de dielétrico. (Refs.39,40), visando aplicação como sensores de horizonte terrestre em satélites.

Além disso, o domínio das técnicas de fabricação permitirá a obtenção a mais longo prazo, ou como objetivos secundários, de:

- circuitos eletrônicos de pequena complexidade (bipolares) integrados aos sensores.
- outros dispositivos, como termopilhas isoladas termicamente por membranas ou cantileveres de Si (Refs. 41-43), e dispositivos mecânicos simples, com juntas deslizantes (Refs. 45-46).

APRESENTAR E ANALISAR DE FORMA RESUMIDA A BIBLIOGRAFIA EXISTENTE SOBRE O ASSUNTO, BEM COMO OS ESTUDOS CONCLUÍDOS OU EM ANDAMENTO, REALIZADOS PELA UNIDADE EXECUTORA E/OU POR OUTRAS ENTIDADES NACIONAIS E ESTRANGEIRAS, COMENTANDO A EXISTÊNCIA DE ALTERNATIVAS PARA A ABORDAGEM DO PROJETO.

Artigos de resenha sobre micromecânica em Silício, cobrindo técnicas e aplicações:

1. K.E.Petersen, "Silicon as a Mechanical Material", Proc. of the IEEE 70, 420(1982).
2. J.B.Angell, S.C.Terry e P.W.Barth, "Silicon Micromechanical Devices", Sci. American 248, 36(1983).

Uma referência mais recente, contendo artigos sobre técnicas de fabricação e aplicações a sensores, é:

3. "Silicon Based Sensors", IOP Short Meeting Series nº 3, The Institute of Physics, Bristol, 1986.

Edições especiais de periódicos, dedicadas ao assunto de sensores, contendo artigos sobre projeto, fabricação e modelamento de vários dispositivos:

4. Special Issue on Three-Dimensional Semiconductor Device Structures, IEEE Trans. Electron Devices ED-25, nº 10(1978).
5. Special Issue on Solid-State Sensors, Actuators and Interface Electronics, IEEE Trans. Electron Devices ED-26, nº 12(1979).
6. Special Issue on Solid-State Sensors, Actuators and Interface Electronics, IEEE Trans. Electron Devices ED-29, nº 1(1982).
7. Special Issue on Silicon Sensors, IEEE Trans. Electron Devices ED-32, nº 7(1985).

Literatura sobre corrosão química anisotrópica, com ênfase na caracterização das reações e demonstrações de microusinagem:

8. K.E.Bean, "Anisotropic Etching of Silicon", Ref. 4, pg. 1185.

KOH:

9. J.B.Price, "Anisotropic Etching of Silicon with potassium hydroxide-water-isopropyl alcohol", em "Semiconductor Silicon", eds. H.R.Huff e R.R.Burgess. The Electrochemical Society Softbound Symposium Series, Princeton, USA 1973, pg. 339.
10. D.F.Weirauch, "Correlation of the anisotropic etching of single crystal silicon spheres and wafers", J. Appl. Phys. 46, 1478(1975).
11. A.Fissore, "Corrosão Anisotrópica do Silício e Caracterização dessa corrosão pela mistura Hidróxido de Potássio-Agua-Isopropanol, Tese de Mestrado, Escola Politécnica da USP, 1978.

KOH, Etilenodiamina-Pirocatecol-Agua, estudo comparativo:

12. H.Seidel e L.Csepregi, "Three-dimensional structuring of silicon for sensor applications", Sensors and Actuators 4, 455(1983).

Etilenodiamina-Pirocatecol-Agua:

13. E.Bassouns e E.F.Baran, "The fabrication of high precision nozzles by the anisotropic etching of (100) silicon". J.Electrochem. Soc. 125, 1321(1978).
14. A.Reisman, M.Berkenblit, S.A.Chan, F.B.Kaufman e D.C.Green, "The controlled etching of silicon in catalized ethylene diamine-pyrocatechol-water solutions", J.Electrochem. Soc. 126, 1406(1979).

APRESENTAR E ANALISAR DE FORMA RESUMIDA A BIBLIOGRAFIA EXISTENTE SOBRE O ASSUNTO, BEM COMO OS ESTUDOS CONCLUÍDOS OU EM ANDAMENTO, REALIZADOS PELA UNIDADE EXECUTORA E/OU POR OUTRAS ENTIDADES NACIONAIS E ESTRANGEIRAS, COMENTANDO A EXISTÊNCIA DE ALTERNATIVAS PARA A ABORDAGEM DO PROJETO.

15. R.D.Jolly e R.S.Muller, "Miniature cantilever beams fabricated by anisotropic etching of silicon, J.Electrochem. Soc. 127, 2750(1980).

Hidrazina - Água:

16. D.B.Lee, "Anisotropic etching of silicon", J.Appl.Phys. 40, 4569(1969).
17. M.J.Declercq, L.Gerzberg e J.D.Meindl, "Optimization of the hydrazine-water solution for anisotropic etching of silicon in integrated circuit technology", J. Electrochem. Soc. 122, 545(1975).
18. M.Mehregany e S.D.Senturia, "Anisotropic etching of silicon in hydrazine". Sensors and Actuators 13, 375(1988).

Soldagem hermética:

Vidro-Silício

19. G.Wallis e D.I.Pomerantz, "Field-assisted glass-metal sealing". J.Appl.Phys. 40, 3946(1969).
20. A.D.Brooks e R.P.Donovan. "Low-temperature electrostatic silicon-to-silicon seals using sputtered borosilicate glass". J.Electrochem. Soc. 119, 545(1972).

Metal-Vidro

21. P.B.De Nee. "Low energy metal-glass bonding. J.Appl.Phys. 40, 5396(1969).

Projeto, fabricação e caracterização de dispositivos específicos:

Sensores de pressão piezoresistivos:

22. O.N.Tufte, P.W.Chapman e D.Long, "Silicon diffused-element piezoresistive diaphragms", J.Appl.Phys. 33, 3322(1962).
23. A.C.M.Gieles e G.H.J.Somers, "Miniature pressure transducers with silicon diaphragms", Phillips Tech. Rev. 33, 14(1973).
24. Samaun, K.D.Wise e J.B.Angell, "An IC piezoresistive pressure sensor for biomedical instrumentation", IEEE Trans. Biomed. Eng. BME-20, 101(1973).
25. J.M.Borky, "Silicon diaphragm pressure sensors with integrated electronics", PhD. dissertation, University of Michigan, Ann Arbor 1977.
26. W.H.Ko, J.Hynecek e S.F.Bottcher, "Development of a Miniature Pressure Transducer for Biomedical Applications". Ref. 5, pg. 1896.
27. A.F.Beloto, H.Closs, S.P.Cunha, J.A.Senna, J.R.Senna, "Fabricação de Sensores de Pressão Piezoresistivos de Silício". Aceito para publicação nos Anais da Sociedade Bras. de Microeletrônica, 1988. Resumo apresentado no XI Encontro Nac. de Física da Matéria Condensada, Caxambu, Maio de 1988.
28. P.W.Fry, "A Pressure Transducer Using a Silicon Cantilever, Ref. 3, pg. 73.

Sensores de pressão capacitivos:

29. Y.S.Lee e K.D.Wise, "A Batch-Fabricated Silicon Capacitive Pressure Transducer with Low Temperature Sensitivity", Ref. 6, pg. 42.

APRESENTAR E ANALISAR DE FORMA RESUMIDA A BIBLIOGRAFIA EXISTENTE SOBRE O ASSUNTO, BEM COMO OS ESTUDOS CONCLUÍDOS OU EM ANDAMENTO, REALIZADOS PELA UNIDADE EXECUTORA E/OU POR OUTRAS ENTIDADES NACIONAIS E ESTRANGEIRAS, COMENTANDO A EXISTÊNCIA DE ALTERNATIVAS PARA A ABORDAGEM DO PROJETO.

30. W.H.Ko, M.H.Bao e Y-D.Hong, "A High-Sensitivity Integrated-Circuit Capacitive Pressure Transducer", Ref. 6, pg. 48.

Modelamento de sensores de pressão:

31. S.K.Clark e K.D.Wise, "Pressure Sensitivity in Anisotropically Etched Thin-Diaphragm Pressure Sensors", Ref. 5, pg. 1887.
32. H.L.Chau e K.D.Wise, "Scaling Limits in Batch-Fabricated Silicon Pressure Sensors", IEEE Trans. Electron Devices ED-34, 850(1987).

Acelerômetros Piezoresistivos:

33. L.M.Roylance e J.B.Angell, "A Batch-Fabricated Silicon Accelerometer", Ref. 5, pg. 1911.

Acelerômetros Piezoeletricos:

34. P.Chen, R.S.Muller, T.Shiosaki e R.M.White, "Silicon cantilever beam accelerometer utilizing a PI-FET capacitive transducer, Ref. 5, pg. 1857.

Acelerômetros Capacitivos

35. K.E.Petersen, A.Shartel, N.Raley, "Micromechanical accelerometer integrated with MOS detection circuitry", Ref. 6, pg. 23.

Modelamento de acelerômetros

36. H.Seidel, L.Csepregi, "Design optimization for cantilever-type accelerometers". Sensors and Actuators 6, 81(1984).

Fluxômetros

37. R.G.Johnson, R.E.Higashi, "A highly sensitive silicon chip microtransducer for air flow and differential pressure sensing applications". Sensors and Actuators 11, 63(1987). Ver também Ref. 3, pg. 38.
38. J.Lyman, "How Micro Switch's new kind of air-flow sensor does it". Electronics, 1 Outubro 1987.

Bolômetros

39. K.C.Liddiard, "Thin-film resistance bolometer IR detectors". Infrared Phys. 24, 57(1984).
40. K.C.Liddiard, "Thin-film resistance bolometer IR detectors-II". Infrared Phys. 26, 43(1986).

Termopilhas

41. G.R.Lahiji, K.D.Wise, "A Batch-Fabricated Silicon Thermopile Infrared Detector", Ref. 6, pg. 14.
42. G.D.Nievel, "Thermopiles Fabricated using Silicon Planar Technology", Sensors and Actuators 3, 179(1983).
43. P.M.Sarro, H.Yashiro, A.W.V.Hervanden, S.Middelhoek, "An Integrated Thermal Infrared Sensing Array". Sensors and Actuators 14, 191(1988).

APRESENTAR E ANALISAR DE FORMA RESUMIDA A BIBLIOGRAFIA EXISTENTE SOBRE O ASSUNTO, SEM COMO OS ESTUDOS CONCLUÍDOS OU EM ANDAMENTO, REALIZADOS PELA UNIDADE EXECUTORA E/OU POR OUTRAS ENTIDADES NACIONAIS E ESTRANGEIRAS, COMENTANDO A EXISTÊNCIA DE ALTERNATIVAS PARA A ABORDAGEM DO PROJETO.

Outras aplicações de microusinagem

44. W.A.Little, "Microminiature refrigeration", Rev. Sci. Instrum. 55, 661(1984).
45. M.Mehregany, K.J.Gabriel, W.S.N.Trimmer, "Micro gears and turbines etched from silicon". Sensors and Actuators 12, 341(1987).
46. W.S.N.Trimmer e K.J.Gabriel, "Design considerations for a practical electrostatic micro-motor". Sensors and Actuators 11, 189(1987).

Aplicações industriais e comerciais de dispositivos, evolução tecnológica da área e seu impacto econômico:

47. R.Allan, "New applications open up for silicon sensors: a special report", Electronics, 6 Nov 1980, pg. 113.
48. P.W.Barth, "Silicon sensors meet integrated circuits". IEEE Spectrum, Setembro 1981, pg. 33.
49. J.Gosh, "Miniature components carved from silicon may be used as microsensors and valves". Electronics, 17 Maio 1984, pg. 82.
50. J.Gosh, "Micromachining etches a microphone on a chip", Electronics, 28 Abril 1986, pg. 24.
51. M.Eleccion, "Sensors tap IC technology to add more functions", Electronics, 1 Junho 1986, pg. 26.
52. G.Kaplan, "Technology '88 - Industrial Electronics", IEEE Spectrum, Janeiro 1988, pg. 50.

DETALHAR A METODOLOGIA A SER ADOPTADA, DISCRIMINANDO AS ATIVIDADES NECESSÁRIAS À EXECUÇÃO FÍSICA DO PROJETO

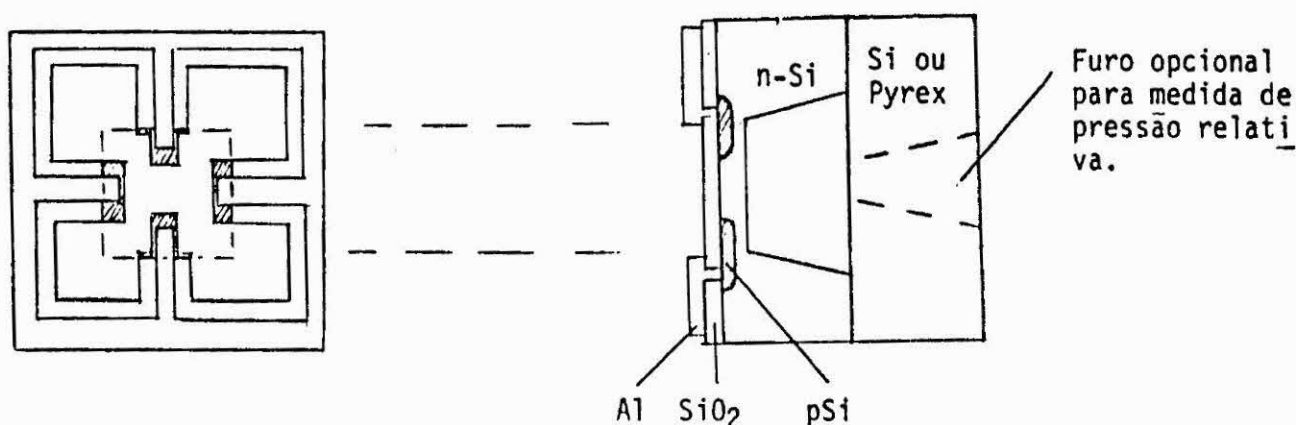
1. Introdução

Para a compreensão das atividades a serem desenvolvidas, é conveniente uma descrição esquemática dos dispositivos propostos e das etapas de sua fabricação (Sec. 2), que são representativos das estruturas possíveis e dos processos utilizáveis. A seguir são comentados os processos em si e as atividades a eles relacionadas (Sec. 3), e na Sec. 4 o encadeamento entre as atividades de fabricação dos dispositivos e implementação do processo.

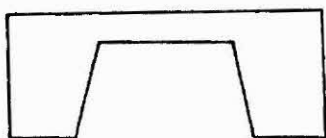
2. Dispositivos e Etapas de Fabricação

2.1. Sensor de Pressão Piezoresistivo (Refs. 22-27).

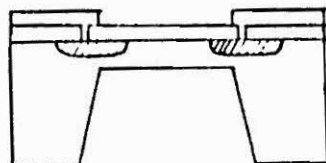
A estrutura básica é uma membrana fina de Si, contendo elementos piezoresistivos p+ difundidos, formando uma ponte de Wheatstone. Uma diferença de pressão entre os dois lados da membrana causa tensões mecânicas nela, e conseqüente variação de resistência dos piezoresistores, detetada pelo desbalanceamento da ponte.



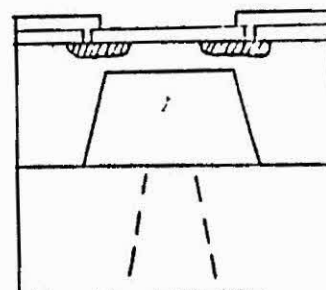
Fabricação:



Corrosão Química Anisotrópica (CQA) para a definição da membrana.



Difusão, Oxidação e Metalização para formação dos elementos piezoresistivos e interconexões.

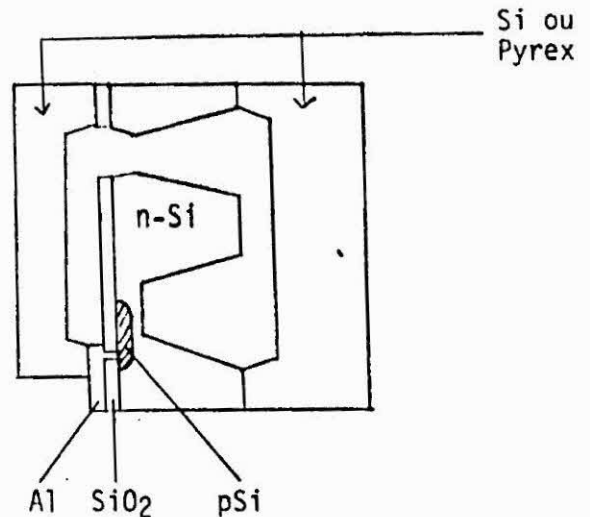
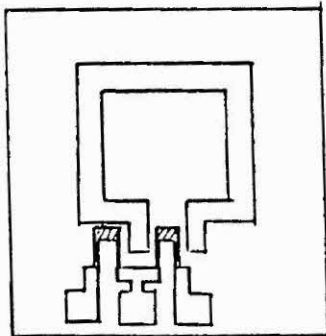


Adesão a uma base de coeficiente de dilatação semelhante, para fechamento de câmara de referência e como suporte mecânico.

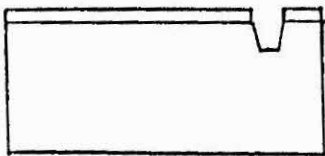
DETALHAR A METODOLOGIA A SER ADOTADA, DISCRIMINANDO AS ATIVIDADES NECESSÁRIAS À EXECUÇÃO FÍSICA DO PROJETO

2.2. Acelerômetro Piezoresistivo (Refs. 33,36)

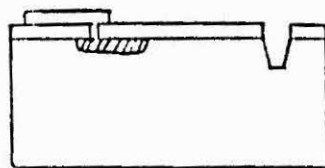
A estrutura básica é uma massa inercial, suspensa por um ou mais braços finos ao restante da pastilha. Sobre os braços são definidos os elementos piezoresistivos difundidos. Uma aceleração perpendicular à pastilha causa tensões mecânicas nos braços e variação da resistência dos piezoresistores, detetada pelo desbalanceamento de uma ponte (ou meia ponte) de Wheatstone.



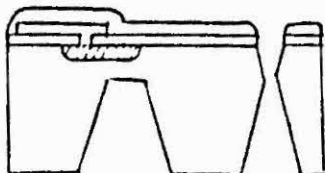
Fabricação:



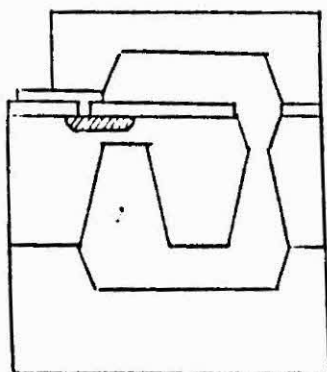
Difusão, e primeira CQA, que define a espessura dos braços.



Metalização.



Proteção da metalização e segunda CQA, para libertar o sistema massa inercial e braços.

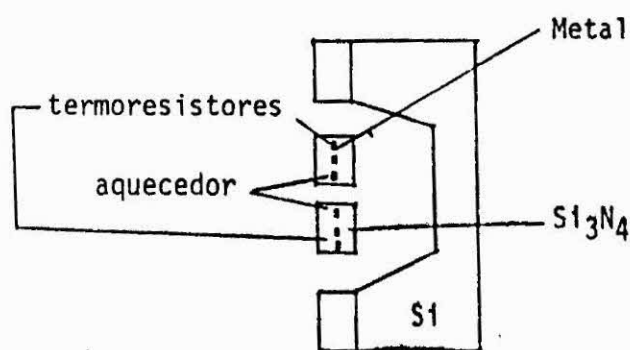
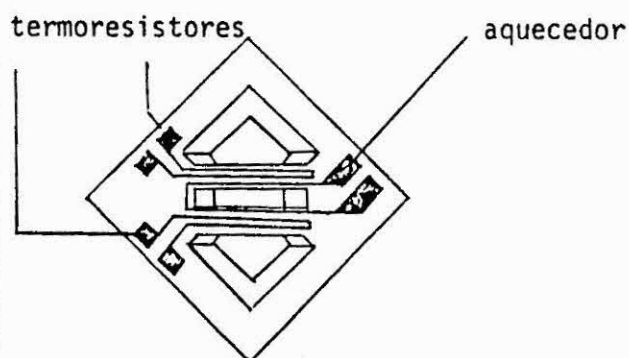


Adesão a lâminas de Si ou Pyrex, para proteção da parte móvel, limitação da amplitude da deflexão, e opcionalmente, para permitir o encapsulamento de Fluido de amortecimento.

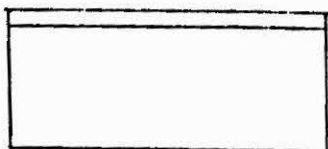
DETALHAR A METODOLOGIA A SER ADOTADA, DISCRIMINANDO AS ATIVIDADES NECESSÁRIAS À EXECUÇÃO FÍSICA DO PROJETO

2.3. Fluxômetro (Refs. 37,38)

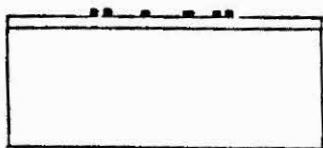
A estrutura básica são pontes suspensas sobre um canal escavado, de geometria bem definida, nas quais há resistores de filme fino, um funcionando como aquecedor e outros dois como termossensores. O fluxo de gás paralelo à pastilha e envolvendo as pontes cria uma diferença de temperatura entre os termorresistores a jusante e a vazante do fluxo, que é detectado pelas respectivas diferentes variações de resistividade e desbalanceamento de uma ponte elétrica.



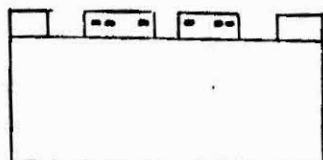
Fabricação:



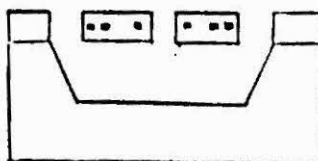
Deposição de filme de dielétrico.



Deposição de metal e definição dos resistores por litografia.



Deposição de nova camada de dielétrico e sua litografia para definição da máscara de CQA.

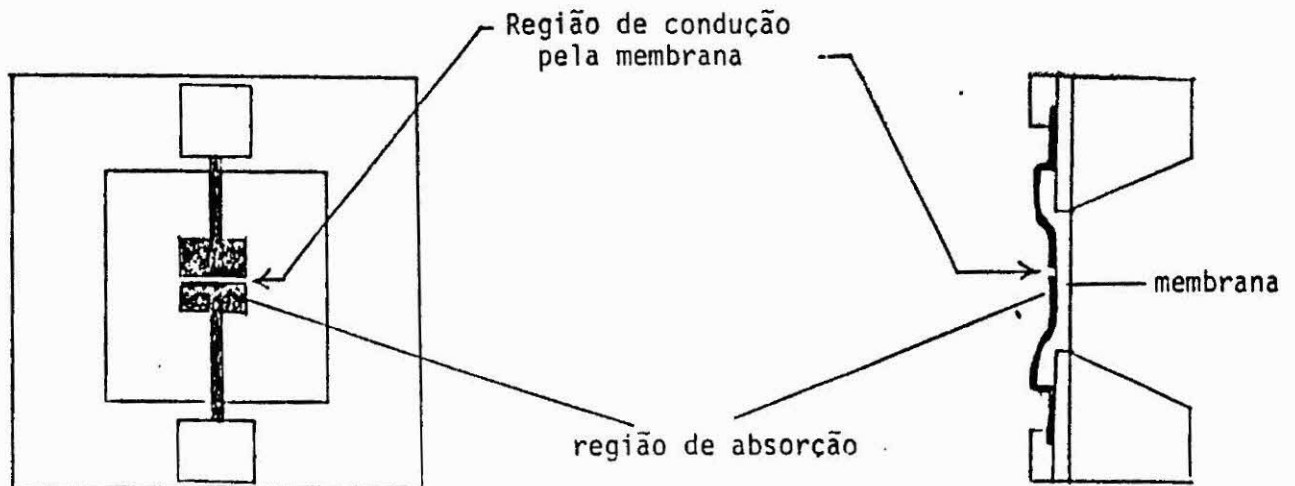


CQA para formação do canal e pontes.

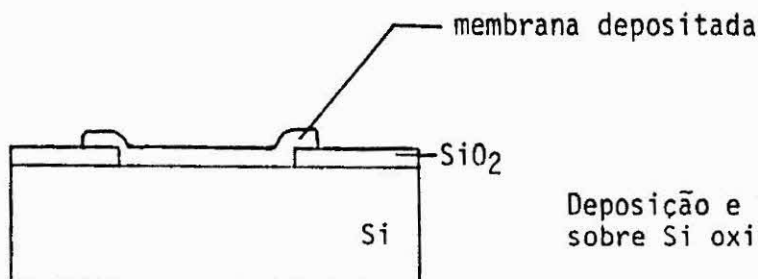
DETALHAR A METODOLOGIA A SER ADOPTADA, DISCRIMINANDO AS ATIVIDADES NECESSÁRIAS À EXECUÇÃO FÍSICA DO PROJETO

2.4. Bolômetro (Refs. 39-40).

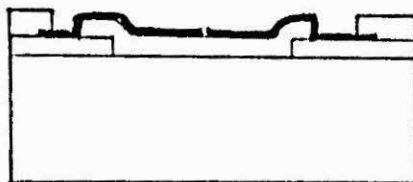
É um sensor de radiação que funciona pela variação de resistividade com temperatura de um filme fino de Si amorfo. A condução nesse material se dá numa região onde há alta absorção da radiação, e é isolada do restante do dispositivo por uma membrana fina.



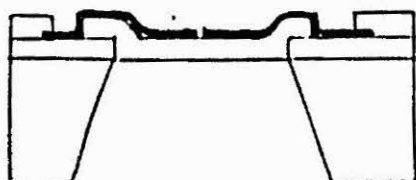
Fabricação:



Deposição e litografia da membrana sobre Si oxidado.



Deposição e litografia da camada de metal para absorção de radiação e contato para a região de condução da película. Formação de contatos externos.



CQA do Si para formação da membrana suspensa.

DETALHAR A METODOLOGIA A SER ADOPTADA, DISCRIMINANDO AS ATIVIDADES NECESSÁRIAS À EXECUÇÃO FÍSICA DO PROJETO

3. Processos

3.1. Litografia

A definição de geometrias precisas nas lâminas de Si depende da gravação de padrões microscópicos sobre elas. Dispomos de uma fotoalinhadora-expositora para lâminas de 1 1/2", que foi por nós recuperada (incluindo a construção de uma fonte para a lâmpada de U.V.).

Para a confecção de máscaras, pretendemos dispor de várias alternativas:

- a). Desenho das máscaras em microcomputador usando programa de CAD com saída compatível com coordenatógrafo.
 - . Corte de Rubilite externamente, por exemplo no LED-Unicamp ou LME-USP.
 - . Fotorredução a máscara de alta resolução no LME (cujos processos são baseados em lâminas de 1 1/2"), com o pagamento do material de consumo e serviços.
- b). Desenho das máscaras no sistemas de CAD-CAM do Laboratório de Circuitos Impressos do INPE, com saída da arte final por fotoplotadora.
 - . Fotorredução direta dessa arte final a máscaras de alta resolução, como em (a).
- c). Utilizar os serviços de fotorredução do Laboratório de Circuitos Impressos para a redução da saída da fotoplotadora até o tamanho final, em fotolito. Transferência desse padrão por cópia de contato a lâminas de vidro plano cromado a vácuo e recozimento de fotoresiste.

A alternativa (a) foi a usada por nós na fabricação dos primeiros sensores de pressão (Ref. 27). As alternativas (b) e (c) serão testadas, com (c) sendo bastante desejável, por prover uma solução de baixo custo, independente da importação de máscaras de alta resolução, e que permite a confecção por nós de máscaras de teste. Em ensaios já realizados, obtivemos fotolitos na redução final com linha de 40µm, suficientes para testes de processos como CQA, e para grande parte das máscaras dos dispositivos propostos.

3.2. Processos de Fornos de Tubo Aberto

Com recursos anteriores (PADCT-SINST 01/86-01), encomendamos a fornecedor nacional a confecção de 4 fornos de 3 zonas, suficientes para oxidação, difusão p, e recozimento de metalização, e a serem instalados. Os controladores de temperatura estão sendo construídos aqui, com um projeto baseado nos controladores usados no LED-Unicamp. Durante o presente projeto instalaremos mais dois fornos, para difusão n, e faremos as calibrações necessárias para seu uso.

3.3. Corrosão Química Anisotrópica

Todas as microestruturas no Silício são obtidas por CQA (Refs. 1-3,8). Três misturas são comumente usadas:

KOH - isopropanol-agua (KOH, Refs. 9-12).

Etilenodiamina-pírocatecol-agua (EDP, Refs. 13-15).

Hidrazina-Agua (H₂, Refs. 16-18).

DETALHAR A METODOLOGIA A SER ADOPTADA, DISCRIMINANDO AS ATIVIDADES NECESSÁRIAS À EXECUÇÃO FÍSICA DO PROJETO

A de uso mais simples é KOH, que pode ser usada em atmosfera comum e é a que apresenta o maior grau de anisotropia. O uso de EDP ou HZ requer um fluxo constante de N_2 para evitar a oxidação da mistura e formação de resíduos. No entanto são mais seletivas, apresentando uma menor taxa de ataque relativa de Si p+ e SiO_2 .

Temos realizado rotineiramente corrosões anisotrópicas de Si com KOH; em membranas assim obtidas para sensores de pressão (Ref. 27), as texturas finais após CQA de profundidade 290 μ m apresentam rugosidades de altura menor que 1 μ m. Uma pesquisa em andamento envolve a otimização da posição das lâminas em relação ao fluxo de solução corrosiva, para melhorar a qualidade das superfícies obtidas.

É extremamente desejável que a etapa de CQA seja a última na fabricação de dispositivos. Isso evita que dispositivos fragilizados pela presença de microestruturas sejam submetidos a novos processos, e também possibilita a criação, pela própria CQA, de canais na lâmina para facilitar a posterior separação em pastilhas individuais. Isso implica a necessidade de proteger da corrosão a face já processada. Estamos pesquisando processos de baixo custo para a proteção do Al à corrosão por KOH; por outro lado há resultados conflitantes reportados na literatura quanto ao ataque de Al por HZ.

3.4. Corrosão por Plasma

A corrosão química em meio aquoso envolve equipamento barato, mas tem limitações de resolução e sofre perturbações irreprodutíveis devido a bolhas, fluxos de líquido, etc... Uma tendência atual é a sua substituição por corrosão por plasma, que permite a corrosão de materiais como Si_3N_4 e polímeros para as quais não há corrosões químicas satisfatórias.

Do ponto de vista de micromecânica, a corrosão por plasma é particularmente interessante por permitir corrosão anisotrópica independente de orientação cristalográfica do material corroído. Assim ela torna possível a corrosão de furos de alta taxa de aspecto profundidade/largura, com paredes verticais em direções arbitrárias, tanto em materiais cristalinos como amorfos, e permite aplicações avançadas de micromecânica (por ex. Ref. 45).

Assim, implementaremos esse processo com a instalação e calibração de um reator de corrosão por plasma tendo em vista aplicações a partir do 2º ano do projeto e nos seguintes.

3.5. Deposição de Filmes

Esses processos são complementares aos de corrosão, em micromecânica. Por exemplo, o SiO_2 térmico, usado como máscara de corrosão, não é utilizável para a formação de pontes e membranas de dielétrico, por ser formado em compressão, e também não é utilizável para deposição sobre filmes metálicos, para passivação. Temos usado, para a deposição de metais, uma evaporadora simples, que permite evaporação térmica

DETALHAR A METODOLOGIA A SER ADOPTADA, DISCRIMINANDO AS ATIVIDADES NECESSÁRIAS À EXECUÇÃO FÍSICA DO PROJETO

Instalaremos um sistema incluindo no mínimo evaporação por "electron-beam", medidor de espessura de filmes, e "sputtering" para deposição de dielétricos, para permitir:

- Formação de pontes e membranas de isolamento térmica (por exemplo em fluxômetros e bolômetros).
- Passivação de filmes metálicos.
- Deposição de camadas finas de vidro, usado como adesivo (vide 3.6).

A definição da espessura de membranas ou cantileveres de Si pelo controle de tempo de corrosão é insatisfatória para a obtenção de pequenas espessuras e cria uma dependência do resultado final a variações de espessura do substrato. A maneira adequada de resolver essa dificuldade é pelo uso de camadas enterradas de por exemplo Si₃N₄ sob uma camada de Si epitaxial, crescida por CVD. Julgamos no entanto, que a instalação de um reator de CVD e da infraestrutura associada não é apropriada no momento para o nosso projeto, e optamos por utilizar as facilidades já instaladas ou em instalação no LME-USP e LED-Unicamp, para:

- Adquirir lâminas já incluindo camadas epitaxiais.
- Realizar etapas intermediárias de epitaxia no processamento de dispositivos.

3.6. Adesão

O elemento sensor, contendo uma membrana, ou cantilever, deve ser aderido a uma base ou tampa de modo a completar o sensor. Essa deve prover:

- suporte mecânico para aumentar a rigidez das partes imóveis e isolar o elemento sensor de tensões mecânicas no encapsulamento.
- fechamento hermético de câmara de referência (ex. sensor de pressão).
- formação de recipiente para fluido amortecedor (ex.: acelerômetro).
- limitação do movimento de partes móveis.

Os seguintes fatores devem ser considerados na escolha do material de base e método de adesão:

- casamento de coeficientes de expansão térmica.
- limites de temperatura do processo para não prejudicar processos anteriores (por ex. contatos ôhmicos).
- estabilidade, reprodutibilidade, compatibilidade com "batch-processing".
- possibilidade de microusinagem.

Uma solução adotada comumente é a soldagem termoeletrostática Si-Pyrex (Refs. 1,2,19). Montaremos um sistema de aquecimento e uma fonte de alta tensão, visando dominar esse processo, cujo aproveitamento no entanto depende de suprimento de lâminas de Pyrex de alta planicidade com rugosidade menor que 500Å. O uso de juntas Si-Si é ainda mais atraente pela perfeita compatibilidade. Um método já reportado na literatura é a soldagem Si-Si por uma camada intermediária de vidro depositada por RF

DETALHAR A METODOLOGIA A SER ADOPTADA, DISCRIMINANDO AS ATIVIDADES NECESSÁRIAS À EXECUÇÃO FÍSICA DO PROJETO

sputtering, com a camada fina de vidro permitindo o uso de baixa voltagem. O primeiro método a ser pesquisado e implementado a tempo de ser usado nos primeiros dispositivos é a colagem Si-Si por epoxy ou elastômero, que podem ser aplicados a regiões selecionadas das lâminas através de máscaras.

4. Estratégia Global

Levando em conta os fatores:

- necessidade de estabelecimento da competência e experiência da equipe, através da fabricação de dispositivos, já iniciada.
- escalas de tempo envolvidas na compra, importação e instalação de equipamento.
- envolvimento necessário da equipe na instalação do laboratório, ordenaremos a nossa atividade de modo a:

- 1) Instalar uma cabine de fotolitografia, de área aproximada 9m², provida de um sistema de ar condicionado para controle de temperatura, umidade e particulado.
- 2) Completar a instalação de fornos.
- 3) Fabricar sensores de pressão e aceleração piezoresistivos até obter produtos testados para aproveitamento por usuários, dentro das limitações de não disponibilidade de crescimento epitaxial e facilidades limitadas de deposição a vácuo.
- 4) Instalar e calibrar sistema de deposição a vácuo.
- 5) Fabricar sensores de pressão e acelerômetros, usando crescimento epitaxial para definição de espessura de membranas e cantileveres.
- 6) Instalar e calibrar sistema de corrosão por plasma para inclusão desse processo na fabricação dos dispositivos.
- 7) Fabricar bolômetros e fluxômetros.

RELACIONAR AS ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO E AS METAS A SEREM ALCANÇADAS, DESTACANDO AS QUE POSSAM SE CONSTITUIR EM INDICADORES DE PROGRESSO DA EXECUÇÃO FÍSICA

Baseado nos objetivos expostos e na descrição da metodologia é proposto o cronograma de metas abaixo. As atividades relacionadas a essas metas estão descritas no quadro a seguir:

1. Instalação de meios (Indicador de progresso: relatórios)

<u>Meta:</u>	<u>Mês</u>
1.1. Cabine de fotolitografia instalada, com controle de particulado, temperatura e umidade relativa	6
1.2. Fornos de oxidação, difusão p, e recoz. de metalizações operacionais..	6
1.3. Fornos de difusão n operacionais	9
1.4. Sistema de deposição de filmes a vácuo instalado e operacional	12
1.5. Sistema de corrosão por plasma instalado e operacional	15

2. Dispositivos (Indicador de progresso: relatórios e artigos submetidos à publicação).

<u>Meta:</u>	<u>Mês</u>
2.1. Sensores de pressão fornecidos a empresa nacional para testes em equipamento comercial	9
2.2. Sensores de pressão, com câmara de referência hermética	12
2.3. Acelerômetros fornecidos para teste e qualificação no Laboratório de Integração e Testes do INPE	12
2.4. Sensores de pressão e acelerômetros, com microestruturas obtidas por corrosão, com o uso de camada epitaxial	21
2.5. Bolômetros com isolamento térmica por camadas depositadas	24
2.6. Fluxômetros	24

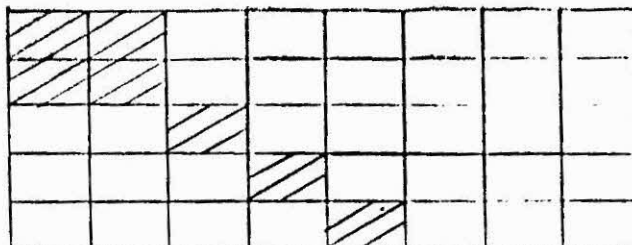
RELACIONAR AS ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO E AS METAS A SEREM ALCANÇADAS, DESTACANDO AS QUE POSSAM SE CONSTITUIR EM INDICADORES DE PROGRESSO DA EXECUÇÃO FÍSICA

Mês

0 3 6 9 12 15 18 21 24

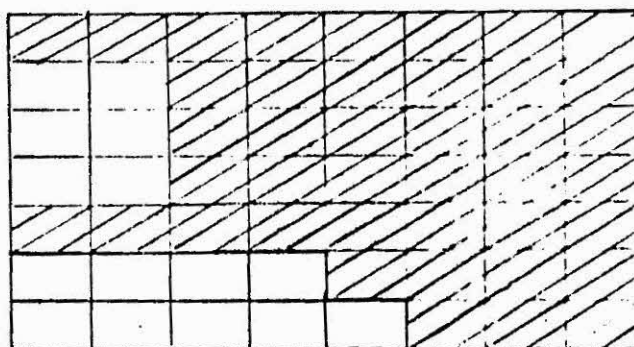
INSTALAÇÃO DE MEIOS

Instal. Cabine fotolitografia
Instal. fornos oxid., dif. p, recoz.
Instal. fornos dif. n
Instal. evap. a vácuo
Instalação reator de corrosão p/Plasma



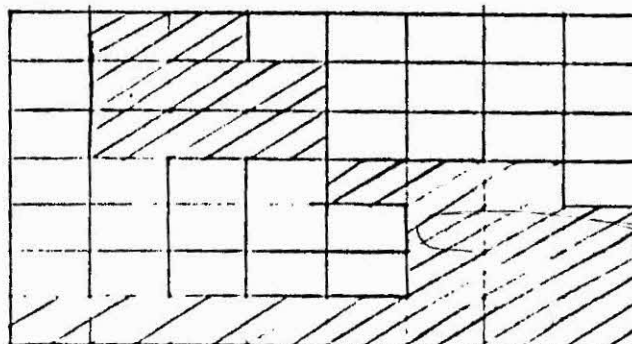
PROCESSOS

Corrosão Química Anisotrópica
Soldagem Hermética
Litografia
Difusão, oxidação
Deposição de filmes (evap. térmica)
Depos. de filmes (e-beam, sputtering)
Corrosão por plasma



FABRICAÇÃO DE DISPOSITIVOS

S. Pressão
S. Pressão, incluindo fech. hermético
Acelerômetros
S. Pressão, acelerômetros, usando epitaxia
Bolômetros
Fluxômetros
Projeto, modelamento



SE POSSÍVEL, INDICAR A UTILIZAÇÃO DOS RESULTADOS

1. Utilização dos dispositivos propostos no biênio:Sensor de pressão

Diversas firmas manifestaram-se interessadas no aproveitamento destes dispositivos. Nossa intenção é que a tecnologia de fabricação não seja transferida para fabricantes do dispositivo sensor antes de ter sido testada em condições realísticas. Para isso, estamos em contato com uma firma que pretende fabricar sensores de profundidade usando sensores piezoresistivos de Silício, tendo em vista fornecer-lhes elementos sensores em substituição a dispositivos atualmente importados.

Acelerômetro

Dentro da filosofia exposta acima, protótipos, assim que fabricados, serão fornecidos ao Laboratório de Integração e Testes do INPE, para qualificação para uso em bancadas de testes de aceleração e vibração; forneceremos lotes a Departamentos de Engenharia Mecânica de universidades, para avaliação e uso.

Fluxômetro

Enorme potencial de aplicações, desde medições de fluxo de gases em laboratórios, até aplicações em larga escala, como controle de sistemas de ar condicionado. Estudaremos a aplicabilidade a controle de injeção direta em veículos.

Bolômetro

Aplicação espacial típica, como sensor de horizonte terrestre em satélites nacionais. Assim, protótipos serão oferecidos à Missão Espacial Completa Brasileira para avaliação e qualificação.

2. Multiplicação de Tecnologia Nacional

Através da atração de fornecedores nacionais de insumos e produtos como pyrex plano, fornos, encapsulamentos para dispositivos.

3. Formação de pessoal

Como mencionado anteriormente, através de cooperação com o ITA:

- Participação de estudantes em processos e projeto, dela resultando trabalhos de graduação e teses de pós-graduação.
- Interação com engenheiros interessados em projeto de sistemas de controle baseados em microsensores de silício.

[illegible]

DESCRIÇÃO DO PROJETO
(PESSOAL TÉCNICO EXISTENTE E A CONTRATAR)

[illegible]

RELACIONAR APENAS AQUELES QUE SERÃO EFETIVAMENTE UTILIZADOS

DESCRIÇÃO	ANO DE AQUISIÇÃO	ORIGEM DOS RECURSOS	ESTADO OPERACIONAL ATUAL
Módulo de fluxo laminar vertical, classe 100, área útil 1,90 x 0,70m ² , marca VECO.	1987	INPE	Em operação
Módulo de fluxo laminar vertical, classe 100, área útil 1,20 x 0,60m ² , marca LUWA.	1987	PADCT	Em operação
Fotoalinhadora-Expositora para lâminas de 1 1/2", marca Electroglass.	1987	Empréstimo	Testada e operacional, conexões elétricas a finalizar.
Capela química com exaustão 1800m ³ /h com revestimento epoxy, para uso em processos limpos, com insuflação por módulo de fluxo laminar.	1988	PADCT/INPE	Testada; em ajuste de insuflação/vazão.
Espalhadora centrífuga de resinas, movida a turbina de ar comprimida projetada e construída dentro do projeto.	1988	PADCT/INPE	Em calibração.
04 fornos de 3 zonas, comp. 80cm, para operação até 1300°C, e para tubos de quartzo $\phi \leq 80\text{mm}$.	1987	PADCT	Testados; aguardando entrega de tubos de quartzo, já comprados e sua instalação; controladores de temperatura em construção.
Microcomputador tipo Apple II, 64K de memória.			em operação.
Soldadora de fios por ultrassom, UNITEK.			Danificada, necessita reparos e manutenção.

EQUIPAMENTOS DE PESQUISA IMPORTADOS

Cz\$ mil

Ano 1

Exercício (*)

ESPECIFICAÇÃO E APLICAÇÃO NO PROJETO	PAÍS DE ORIGEM	MÓDELO	FABRICANTE	CUSTO UNITÁRIO	QUANT.	CUSTO TOTAL	FONTE DE RECURSOS	
							PROPRIETÁRIO	OUTROS
Equipamento para deposição de filmes em alto vácuo, por evaporação térmica com filamento aquecido ou por feixe de elétrons e por "sputtering". Provido de medidor de espessura de filmes, aquecimento dos substratos e antecâmara para carregamento dos substratos ("load-lock").	U.S.A.	Sob encomenda	Danielsen	22000	01	22.000		
								22.000
Equipamento para medida e ajuste de valor de componentes por meio abrasão com laser, incluindo uma posicionadora, pontas para ntato, microscópio com câmara T.V., laser de YAG pulsado e sistema óptico.	U.S.A.		Alessi	15000	01	15000		
								15000
ator planar para corrosão por plasma ("plasma etch") com con- juração de plasma e de corrosão por- ions reativos ("reactive etch"-RIE), com detector de corrosão, para corrosão de Si, SiO ₂ , Si ₃ N ₄ , metais e po- eros.	U.K.	Plasmalab	Plasma Technology	22000	01	22000		
								22000
xômetros (rotâmetros) para trôle de gases para alimenta- de fornos e reator de "plasma etch".	U.S.A.		Cole-Parmer	33	07	231		
			Bausch e Lomb	500	01	500		
ros cópio estereó com zoom, pa- inspeção de lâminas								500
TOTAL						59731		59731

EQUIPAMENTOS DE PESQUISA NACIONAIS (*)

cr\$ mil

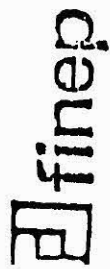
Ano 1

EXERCÍCIO (→→)

ESPECIFICAÇÃO E APLICAÇÃO NO PROJETO	MÓDELO	FABRICANTE	CUSTO UNITÁRIO	QUANT.	CUSTO TOTAL	PONTE DE RECURSOS	
						PROPRIÉTARIO	OUTROS
Formos de 3 zonas, comp. 80cm, para operar até 1300°C, e para tubos de quartzo de $\phi = 65mm$.	sob encomenda	ETIL	450	02	900		900
Sistema de ar condicionado tipo "split system", capacidade 1,5 TR, com serpentina de resaquecimento, para desumidificação de cabine de fotolitografia.	SRF 2.1.1	STARCO	900	01	900		900
Filtro eletrostático de duplo estágio vertical, para vazão 1700m ³ /h, para filtragem do ar da cabine de fotolitografia.	E 17 DV	FAAP	490	01	490		490
Álvulas reguladoras de pressão, de aço inox, duplo estágio.	UP	SAMM	280	06	1680		1680
Carrelho para limpeza por ultrassom.	SX10	MICROSONIC	60	01	60		60
Membranas reguladoras de pressão, de aço inox, duplo estágio.		DEION	500	01	500		500
Medidor de tensão, de saída dupla, 0-10V, com leitura digital 3 1/2 dígitos, para caracterização de dispositivos.		ENELBRA	250	01	250		250
Medidor digital, 4 1/2 dígitos, função de escala 200mV, para caracterização de dispositivos.		TRIEL	165	02	330		330
Estabilizador de Tensão, 1kW, 110V, para alimentação de equipamento eletrônico.	TR 1A/I	TECTROL	150	01	150		150
Carros para armazenagem e transporte de líquido para alimentação de fornos, capacidade 170L.	UCV-170	CRIMETAL	1200	01	1200		1200
TOTAL	(continua)						

OS EQUIPAMENTOS NACIONAIS OS AQUISITADOS EM MOEDA NACIONAL, NO PAÍS. OBS: mês-base para preços: Junho 88.

UTILIZAM-SE FORMULÁRIO PARA CADA EXERCÍCIO.



FINEP

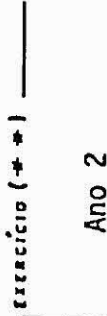
EQUIPAMENTOS DE PESQUISA NACIONAIS

(continuação) cr\$ mil

Exercício (→→)

Ano 1

ESPECIFICAÇÃO E APLICAÇÃO NO PROJETO	MÓDELO	FABRICANTE	CUSTO UNITÁRIO	QUANT.	CUSTO TOTAL	FONTE DE RECURSOS		
						PROPRIÉTARIO	OUTROS	PROCT
Torre de refrigeração, 30.000Kcal/h para fornos e bombas de difusão. Micrômetro de mesa, para medida de espessura de lâminas. Unidade de disco de 5 1/4" para microcomputador tipo Apple * Impressora gráfica e cartão de interface para microcomputador tipo Apple*. Expansão de memória para microcomputador tipo Apple*. Para uso de micro já disponível para projeto de máscaras por CAD.	2109 E 10 215 - 303	Ind. Mec. Caravela MITUTOYO	135 65 230 22	01 01 02 01 01	300 135 130 230 22			300 135 130 230 22
TOTAL						7277		7277



EQUIPAMENTOS DE PESQUISA NACIONAIS (*)

c: \$ mil

Ano 2

ESPECIFICAÇÃO E APLICAÇÃO NO PROJETO	MÓDELO	FABRICANTE	CUSTO UNITÁRIO	QUANT.	CUSTO TOTAL	FONTE DE RECURSOS		P.M.D.
						PROPRIETÁRIA	OUTROS	
Microcomputador linha Apple para com trôle de processos em tempo real.			98	01	98			98
TOTAL					98			98

1 - SÃO CONSIDERADOS EQUIPAMENTOS NACIONAIS OS ADQUIRIDOS EM MOEDA NACIONAL, NO PAÍS. OBS: Mês base para preços: Junho 88.



MATERIAL PERMANENTE
NACIONAL (*)

cr\$ mil

EXERCÍCIO (**)

Ano 1

ESPECIFICAÇÃO	FINALIDADE	CUSTO UNITÁRIO	QUANT.	CUSTO TOTAL	FONTE DE RECURSOS		
					PROPRONENTE	OUTROS	PMDCY
Geladeira.	Armazenamento de produtos químicos	60	01	60			60
Bancadas de laboratório.	Suporte para equipamento pe- queno e para armazenamento de material de consumo.			35			35
Caixa d'água capac. 2000l.	Suprimento de emergência para refrigeração.	15	01	15			15
T O T A L				110			110

*1- É CONSIDERADO MATERIAL PERMANENTE NACIONAL O ADQUIRIDO EM MOEDA NACIONAL NO PAÍS. OBS: mês base para preços: Junho 88.
*2- UTILIZAR UM FORMULÁRIO PARA CADA EXERCÍCIO.

MATERIAL DE CONSUMO

Cr\$ mil

Ano 1

ANO DE EXECUÇÃO (m)

ESPÉCIE E FINALIDADE	QUANT.	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL	PORTES DE RECURSOS		PROD
				PROPORCIONAL	OUTROS	
- Tubos de quartzo 60mm x 40", com pescoço e tampas (importado).	02	80	160			160
- Gases para corrosão por plasma: CF ₄ , etc...(importados).	200 x	0,25	50			50
- Placas de Pyrex opticamente plano para confecção de máscaras e dispositivos (importado).			200			200
- Cadinho de Nitreto de Boro, para evaporação térmica de Alumínio (importado).	01		80			80
- Componentes eletrônicos para confecção de circuitos de controle de processos, e de caracterização e teste de dispositivos (importados).			280			280
- Barquetas de quartzo para fornos (importado).	06	50	300			300
- Pontas para soldadora de fios (importado).	05	12	60			60
TOTAL (continua)						

MATERIAL DE CONSUMO (continuação)

cr\$ mil

Ano 1

ANO DE EXECUÇÃO (*)

ESPÉCIE E FINALIDADE	QUANT.	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL	FONTES DE RECURSOS	
				PROPRIÉTARIO	OUTROS
- Gases: O ₂ , H ₂ para alimentação de fornos (nacional).			800		
- Tubos de inox e conexões, 1/4", para linhas de gases. (nacional).			140		
- Reagentes químicos para limpeza, corrosão (nacional).			300		
- Vidraria de química (nacional).			200		
- Placas de Pyrex opticamente plano para confecção de dispositivos (nacional).			500		
- Componentes eletrônicos para confecção de fonte de tensão para solda termo-eletrostática, circuitos de controle, e de caracterização e teste de dispositivos (nacional).			70		
- Pequenos itens de consumo: caixas de plástico para amostras e componentes, material de limpeza, adesivos, conexões elétricas, etc.			340		
- Componentes elétricos para confecção de 2 controladores de temperatura para fornos de difusão n.			200		
- Termopares para controle de temperatura de fornos (nacional).	12m	50	600		
- H ₂ líquido para suprimento de gás para alimentação de fornos (nacional).	1000 m ³	0,055	55		
- Cartuchos filtrantes para água.			200		
- Pré-filtros para reposição em módulos de fluxo laminar (nacional).	24	0,5	12		
TOTAL			4547		
					4547



MATERIAL DE CONSUMO

ANO DE EXECUÇÃO (*)

Cr. \$ mil

Ano 2

ESPÉCIE E FINALIDADE	QUANT.	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL	FONTES DE RECURSOS		F.M.D.C.
				PROPORÇÃO	OUTROS	
- Tubos de quartzo 60mm x 40", com pescoço e tampas para reposição em fornos (importado).	06	80	480			480
- Fio de Au, Al, para contatos (importado).	50m	1	50			50
- Substâncias puras para deposição a vácuo: Al, Au, SiO ₂ , etc. (importado).			140			140
- Cadinhos para evaporação (importado).			100			100
- Substâncias químicas para fotolitografia, corrosão (importado).			200			200
- Lâmpada de vapor de Hg de arco curto, pot 200W, para reposição de fonte de U.V. (importado)	01		60			60
TOTAL (continua)						

ESPECIFICAR UM FOMULÁRIO PARA CADA ANO DE EXECUÇÃO.

OBS: mês base para preços: Junho 88.

MATERIAL DE CONSUMO (continuação)

Cr\$ mil

Ano 2

ANO DE EXECUÇÃO (*)

ESPÉCIE E FINALIDADE	QUANT.	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL	PORTES DE RECURSOS		
				PROPORCENTE	OUTROS	PRODCT
Teflon, Delrin, para confecção de suportes de amostra, peças mecânicas (nacional).			250			250
Reagentes químicos para limpeza, corrosão (nacional).			400			400
N ₂ líquido para suprimento de gás para alimentação de fornos (nacional).	1800 m ³	0,055	99			99
Pré-filtros para reposição em módulos de fluxo laminar (nacional).	24	0,5	12			12
Filtros absolutos para reposição em módulos de fluxo laminar (nacional).	02	135	270			270
Placas de Pyrex para confecção de dispositivos (nacional).			300			300
Gases: O ₂ , H ₂ , para alimentação de fornos e reator de corrosão (nacional).			800			800
Pequenos itens de consumo: caixas de plástico para amos tras e componentes, material de limpeza, adesivos, dutos de ar, etc... (nacional).			356			356
TOTAL			3517			3517

OUTROS SERVIÇOS E ENCARGOS

Cr\$ mil

ANO DE EXECUÇÃO (•)

Ano 1

E S P E C I F I C A Ç Ã O	J U S T I F I C A T I V A	V A L O R	F O N T E D E R E C U R S O S		P R O D U T O
			PROPRIO	OUTROS	
Crescimento, corte e polimento de lâminas de Si.	Matéria-prima para a fabricação de dispositivos. Técnico de nível médio para manutenção e operação de equipamentos no laboratório, em tempo integral.	300			300
Instalação de sistema de ar condicionado para cabine de fotolitografia.		550			550
Confeccção de máscara de alta resolução.		100			100
Locação de cilindros de gás.		300			300
Contratação de serviços em processamento durante todo o período		3050			3050
T O T A L		3750			3750



OUTROS SERVIÇOS E ENCARGOS

ca\$ mil

Ano 2

E S P E C I F I C A Ç Ã O	J U S T I F I C A T I V A	V A L O R	F O N T E D E R E C U R S O S		
			PROPRONENTE	OUTROS	FNDCT
Crescimento, corte e polimento de lâminas de Si, e crescimento de camadas epitaxiais.	Matéria prima para a confecção de dispositivos.	300			300
Confecção de máscaras de alta resolução.		100			100
Locação de cilindros de gás.		300			300
Contratação de serviços em processamento durante todo período	Técnico de nível médio para manutenção e operação de equipamentos no laboratório, em tempo integral.	3050			3050
	T O T A L	4300			4300



— (*) OY5CNCJIZ JO ONV

Ano 1

NOME E FINALIDADE	LOCAL	QUANT	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL	FONTES DE RECURSOS		
					PROPRIETÁRIA	OUTROS	FMDCT
- Realização de processos no LED-UNICAMP.	Campinas	48	3,6	173			173
- Realização de processos no LME-USP	São Paulo	48	1,3	62			62
TOTAL				235			235

DIÁRIAS

ANO DE EXECUÇÃO (M) _____

Ano 2

cr\$ mil

NOME E FINALIDADE	LOCAL	QUANT	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL	FONTES DE RECURSOS		
					PROPRIÉTÉ	OUTROS	PRODUT
Realização de processos no LED-UNICAMP.	Campinas	48	3,6	173			173
Realização de processos no LME-USP.	São Paulo	48	1,3	62			62
TOTAL				235			235

COMPOSIÇÃO DE SALÁRIOS

(C 2 \$ 1.00)

ANO - F

NOME	MENSAL BRUTO	VALORES MENSALIS						TOTAIS ANUAIS		
		PROPORCENTE	MESES	OUTROS	MESES	FINDCT	MESES	PROPORCENTE	OUTROS	FINDCT
Total de salários do pessoal relacionado na descrição do projeto, incluindo 13º e 14º salários e abono pecuniário.	SAL.	51900	12					622800		
	ENC.	16610						199320		
	SAL.									
	ENC.									
	SAL.									
	ENC.									
	SAL.									
	ENC.									
	SAL.									
	ENC.									
	SAL.									
	ENC.									
	SAL.									
	ENC.									
	SAL.									
	ENC.									
TRANSPORTE/ TOTAIS	SAL.							622.800		
	ENC.							199.320		

ONLY

COMPOSIÇÃO DE SALÁRIOS

24 - (Administrativo

FOR

Total de salários do
pessoal relacionado
na descrição do pro-
jeto, incluindo 139 e
149 salários e abono pe-
cuniário.

[illegible]

finep

SAL - (Administrativo)

COMPOSIÇÃO DE SALÁRIOS

(C 2 \$ 1.00)

ANO II

NOME	MENSAL BRUTO	VALORES MENSUAIS						TOTAIS ANUAIS		
		PROPORCIONTE	MESES	OUTROS	MESES	PRODCT	MESES	PROPORCIONTE	OUTROS	PRODCT
Total de salários do pessoal relacionado na descrição do projeto, incluindo 139 e 140 salários e abono pecuniário.	SAL.	9100						109200		
	ENC.	2910	12					34920		
	SAL.									
	ENC.									
	SAL.									
	ENC.									
	SAL.									
	ENC.									
	SAL.									
	ENC.									
	SAL.									
	ENC.									
	SAL.									
	ENC.									
	SAL.									
	ENC.									
	SAL.									
	ENC.									
	SAL.									
	ENC.									
	SAL.									
	ENC.									
	SAL.									
	ENC.									
TRANSPORTE/ TOTAIS	SAL.							109200		
	ENC.							34920		

[illegible]

TRANSPORTE/ TOTALS



FINEP

ORÇAMENTO SUGERIDO POR FONTES DE FINANCIAMENTO

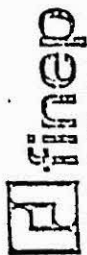
(a preços de junho/88)

PERÍODO DE PROJETO DE /19 A /19

Em Cz\$ mil XXXXXXXX

CAT. ECON.	F O N T E S ESPECIFICAÇÃO DA DESPESA	CONTRAPARTIDA						SUB-TOTAL DO PERÍODO	F N D C T			TOTAIS ANUAIS			TOTAL GERAL DO PROJETO
		PROPORCENTE			OUTROS *				ANO I	ANO II	TOTAL	ANO I	ANO II	TOTAL	
		ANO I	ANO II	TOTAL	ANO I	ANO II	TOTAL								
3100	DESPESA DE CUSTEIO	18300	19800	38100					9082	7502	16584	27382	27302	54684	
3110	PESSOAL	18300	19800	38100					235	235	470	18535	20035	38570	
3120	4) CIENTÍFICO	13138	14268	27406								13138	14268	27406	
	5) TÉCNICO	623	623	1246							-	623	623	1246	
	6) ADMINISTRATIVO	109	109	218								109	109	218	
	4) DIÁRIAS								235	235	470	235	235	470	
	6) OPERAÇÕES PATRONAIS	4430	4800	9230								4430	4800	9230	
3130	MATERIAL DE CONSUMO								4547	3517	8064	4547	3517	8064	
3131	SERVIÇOS DE TERCEIROS E ENCARGOS														
3132	REMUNERAÇÃO DE SERV. PESSOAIS														
3133	CUTUGS SERVIÇOS E ENCARGOS								4300	3750	8050	4300	3780	8050	
4100	INVESTIMENTOS								67118	98	67216	67118	98	67216	
4110	GERAS E INSTALAÇÕES														
4120	4) GERAS														
	5) INSTALAÇÕES														
	EQUIPAMENTOS E MAT. PERMANENTE								67118	98	67216	67118	98	67216	
	4) EQUIPAMENTOS								67008	98	67106	67008	98	67106	
	5) NACIONAL								7277	98	7375	7277	98	7375	
	6) IMPORTADO								59731		59731	59731		59731	
	5) MATERIAL PERMANENTE								110		110	110		110	
	6) NACIONAL								110		110	110		110	
	7) IMPORTADO														
T O T A L S		18300	19800	38100					76200	7600	83800	94500	27400	121900	

* DISTRIBUIÇÃO POR FONTE FINANCIADORA - PREENCHER UM FOLHETO POR SUBPROJETO QUANDO FOR O CASO ALÉM DO CC SOLICITADO.



(a preços de junho/88)

ORÇAMENTO SUGERIDO POR FONTES DE FINANCIAMENTO

PERÍODO DE PROJETO DE /19 A /19

EM OTN *

CAT. ECON.	F O N T E S ESPECIFICAÇÃO DA DESPESA	CONTRAPARTIDA						SUB-TOTAL DO PERÍODO	F N D C T			TOTALS ANUAIS		TOTAL GERAL DO PROJETO
		PROPORLENTE			OUTROS *				ANO I	ANO II	TOTAL	ANO I	ANO II	
		ANO I	ANO II	TOTAL	ANO I	ANO II	TOTAL							
3100	DESPESA DE CUSTEIO	13686	14808	28494					6792	5611	12403	20478	20419	40897
3110	PESSOAL	13686	14808	28494					176	176	352	13862	14984	28846
3120	a) CIENTÍFICO	9825	10671	20496								9825	10671	20496
	b) TÉCNICO	466	466	932								466	466	932
	c) ADMINISTRATIVO	82	81	163								82	81	163
	d) DIÁRIAS								176	176	352	176	176	352
3121	e) OBRIGATÓRIAS PATRONAIS	3313	3590	3903								3313	3590	6903
3122	MATERIAL DE CONSUMO								3401	2630	6031	3401	2630	6031
3123	SERVIÇOS DE TERCEIROS E ENCARGOS													
3131	RENUMERAÇÃO DE SERV. PESSOAIS													
3132	OUTROS SERVIÇOS E ENCARGOS								3216	2804	6020	3216	2804	6020
4100	INVESTIMENTOS								50195	73	50268	50195	73	50268
4110	OBRAS E INSTALAÇÕES													
4120	a) OBRAS													
	b) INSTALAÇÕES													
	EQUIPAMENTOS E MAT. PERMANENTE								50195	73	50269	50195	73	50268
	a) EQUIPAMENTOS								50113	73	50186	50113	73	50186
	• NACIONAL								5442	73	5515	5442	73	5515
	• IMPORTADO								44671		44671	44671		44671
	b) MATERIAL PERMANENTE								82		82	82		82
	• NACIONAL								82		82	82		82
	• IMPORTADO													
T O T A L S		13686	14808	28494					56988	5684	62672	70674	20492	91165

* DETERMINAR POR FONTE FINANCIADORA - PREENCHER UM FORMULÁRIO POR SUBPROJETO ORÇADO POR O CASO ALÉM DO DE SOLIDARIEDADE.



finep

FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS

CRONOGRAMA GERAL DE DESEMBOLSOS

BENEFICIÁRIO: INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE

RECURSOS: FINEP (EM CZ\$ mil)

CONVÊNIO N.º

ITEMS DE DISPÊNDIO		TOTAL GERAL	* DE				/				A				* DE				/				A				TOTAL DO PERÍODO
			1.º TRIM.	2.º TRIM.	3.º TRIM.	4.º TRIM.	TOTAL DO PERÍODO	1.º TRIM.	2.º TRIM.	3.º TRIM.	4.º TRIM.	TOTAL DO PERÍODO	1.º TRIM.	2.º TRIM.	3.º TRIM.	4.º TRIM.	TOTAL DO PERÍODO										
3100	DESPESAS DE CUSTEIO (1)	16584	2862	1660	2495	2065	9082	2812	1730	1530	1430	7502															
3110	PESSOAL	470	61	56	61	57	235	62	57	63	53	235															
	a) Científico																										
	b) Técnico																										
	c) Administrativo																										
	d) Diárias	470	61	56	61	57	235	62	57	63	53	235															
3113	Obrigações Patrimoniais																										
3120	MATERIAL DE CONSUMO	8064	1481	844	1374	848	4547	1690	613	607	607	3517															
3130	SERVIÇOS DE TERCEIROS E ENCARGOS	8050	1320	760	1060	1160	4300	1060	1060	860	770	3750															
3131	Remuneração de Serviços Pessoais																										
3132	Outros Serviços e Encargos	8050	1320	760	1060	1160	4300	1060	1060	860	770	3750															
4100	INVESTIMENTOS (2)	67216	67068		35	15	67118	98				98															
4110	OBRAS E INSTALAÇÕES																										
	a) Obras																										
	b) Instalações																										
4120	EQUIPAMENTOS EMATERIAL PERMANENTE	67216	67068		35	15	67118	98				98															
	a) Equipamentos	67106	67008				67008	98				98															
	• Nacional	7375	7277				7277	98				98															
	• Importado	59731	59731				59731																				
	b) Material Permanente	110	60		35	15	110																				
	• Nacional	110	60		35	15	110																				
	• Importado																										
TOTAL (1 + 2)		83800	69930	1660	2530	2080	76200	2910	1730	1530	1430	7600															



finep

FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS

CRONOGRAMA GERAL DE DESEMBOLSOS

BENEFICIÁRIO:

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE

RECURSOS:

FINEP

(EM OTN)

CONVÊNIO N.º

ITEMS DE DISPÊNDIO		TOTAL GERAL	* DE				/				A				/				* DE				/				A				/				TOTAL DO PERÍODO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
			1.º TRIM.	2.º TRIM.	3.º TRIM.	4.º TRIM.	1.º TRIM.	2.º TRIM.	3.º TRIM.	4.º TRIM.	1.º TRIM.	2.º TRIM.	3.º TRIM.	4.º TRIM.	1.º TRIM.	2.º TRIM.	3.º TRIM.	4.º TRIM.	1.º TRIM.	2.º TRIM.	3.º TRIM.	4.º TRIM.	1.º TRIM.	2.º TRIM.	3.º TRIM.	4.º TRIM.	1.º TRIM.	2.º TRIM.	3.º TRIM.	4.º TRIM.	TOTAL DO PERÍODO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
3100	DESPESAS DE CUSTEIO (1)	12403	2141	1241	1866	1545	6793	2103	1294	1144	1069	5610																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				</

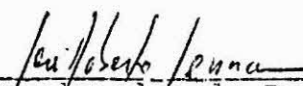
ASSINATURAS

Deverão constar as assinaturas do Coordenador do Projeto, do Diretor da Unidade Executora, e dos setores administrativos diretamente envolvidos com a montagem e acompanhamento dos projetos (exemplos: Setor de Acompanhamento de Projetos, Superintendência Administrativa, Diretoria de Administração, Fundação Universitária e/ou equivalentes), da Instituição Proponente, o que pressupõe concordância com os termos do projeto proposto.

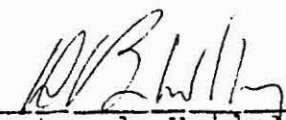
Deve ser este procedimento considerado como manifestação explícita da instituição, quanto à oportunidade, ao interesse e à prioridade que confere ao projeto, assim como o comprometimento de que serão fornecidas as necessárias garantias para sua adequada execução.

São José dos Campos, 21 de julho de 1988

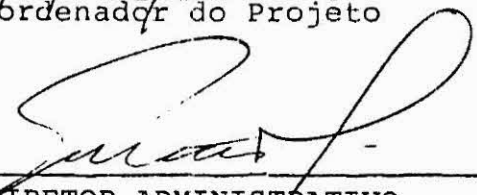
Local e Data



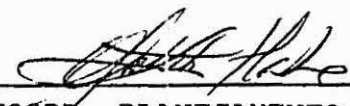
Coordenador do Projeto



p/Diretor da Unidade Executora



p/DIRETOR ADMINISTRATIVO



p/COORD. PLANEJAMENTO E CONTROLE