

LABORATÓRIO ABERTO DE FÍSICA NUCLEAR

PAC 2016

Proposal	N°
Title: Caracterização completa da nova linha experimental do Laboratório Aberto de Física Nuclear	
Responsible: Vitor Aguiar	e-mail: vitor.angelo.aguiar@usp.br
Participants Vitor Aguiar (doutorando), Nilberto H. Medina (orientador), Nemitala Added, Fernando Aguirre (mestrando), Saulo Alberton (iniciação científica), Eduardo Macchionne, Marcilei Guazzelli, Rafael Escudeiro (mestrando), Valdir Scarduelli (doutorando), Vinícius Zagatto, Paula Allegro, Roberto V. Ribas, José Roberto Brandão de Oliveira, Alisson R. Leite	
Spokeperson: Vitor Aguiar	e-mail: vitor.angelo.aguiar@usp.br
Telephone: (11)3091-6961	Skype:
Number of days for experiment:	
Period planned for the experiment (are the setup ready for beam time?): Junho 2016	

Technical information

Ion source			Accelerator			Experimental Area	
Beam	Cathode	I _{mínima}	V _{min}	V _{max}	Bunched beam?	Beam line	Target
12C	Misto	300nA	6	8	Nao	0	197Au
16O	Misto	300nA	6	8	Nao	0	197Au
28Si	Misto	300nA	6	8	Nao	0	197Au
35Cl	Misto	300nA	6	8	Nao	0	197Au
63Cu	Misto	300nA	6	8	Nao	0	197Au

Other relevant/needed information:

Caracterização completa da nova linha experimental do Laboratório Aberto de Física Nuclear

V.A.P. Aguiar, N.H. Medina, N. Added, E.L.A. Macchione, F.R. Aguirre, P.R.P. Allegro, V.A.B. Zaggato,
J.R.B. Oliveira, R.V. Ribas, R. Escudeiro, S. Alberton, V.B. Scarduelli, A.R. Leite

Instituto de Física da Universidade de São Paulo

M.A.G. Silveira

Centro Universitário da FEI

1 Introdução

A miniaturização constante dos dispositivos eletrônicos contribui para o maior aparecimento de efeitos de radiação, uma vez que a carga crítica para a mudança de estado de um bit, se torna menor com a diminuição das capacitâncias envolvidas [1]. Desta forma, os esforços para compreender e eliminar ou diminuir efeitos de radiação sobre dispositivos eletrônicos vêm sendo intensificados, estudos estes que possuem influência direta em diversas aplicações de componentes eletrônicos, como por exemplo na tecnologia aeroespacial [2], na tecnologia e física nuclear e na física de partículas.

Os efeitos de radiação em dispositivos eletrônicos são separados em três classes principais: efeito de Dose Ionizante Total (TID), Dano por Deslocamento (DD) e Efeitos de Eventos Isolados (SEE) [3], sendo que os três efeitos podem ser estudados utilizando como fonte de radiação o fluxo de íons com energia da ordem de dezenas de MeV gerados por um acelerador de partículas. Os danos de dose ionizante total são normalmente estudados utilizando prótons ou radiação eletromagnética, os danos por deslocamento são estudados utilizando nêutrons e íons pesados, enquanto que os estudos de SEE podem ser feitos empregando-se prótons de alta energia, nêutrons rápidos ou íons pesados com energias variando entre dezenas de MeV a dezenas de GeV.

Existem normas específicas para realizar este tipo de ensaio [4, 5, 6], visando garantir que o número de partículas seja não apenas baixo o suficiente para não comprometer o dispositivo sob teste por aquecimento, mas também para garantir que o tempo morto do sistema de leitura seja tal que a probabilidade de eventos simultâneos seja diminuída. Além disso, deve-se garantir a homogeneidade do feixe de partículas sobre o dispositivo sob teste. Algumas das características principais requeridas são:

- feixe com diâmetro entre 1 e 2 cm;
- fluxo variável entre 100 e 10000 *partículas.cm²/s*;
- campo de radiação uniforme dentro de 10% de tolerância;
- dosimetria controlada com tolerância de 10%;
- passadores de sinais adequados à alta quantidade de sinais lógicos e analógicos sob monitoramento;

Para um posicionamento preciso dos dispositivos a serem estudados, faz-se necessário a utilização de um goniômetro com precisão micrométrica, que possibilite a movimentação nos três eixos e também com possibilidade de rotação. Para o caso de placas de grandes dimensões e circuitos eletrônicos/dispositivos que possam aumentar muito a temperatura, devido à pequena dissipação térmica existente em ambientes de baixa pressão, é recomendado se utilizar feixes externos. Ambas situações foram contempladas no projeto da nova linha experimental.

Para produzir um feixe de partículas com estas características, vários métodos podem ser utilizados, como defocalização [7] ou espalhamento múltiplo, combinando colimadores e folhas espalhadoras, como mostrado em [8] e aplicado com sucesso em [9]. A utilização de folhas espalhadoras permite

maior flexibilidade, uma vez que retirando-se as folhas a condição é reduzida à condição de defocalização.

Quando um feixe atravessa uma folha suficientemente grossa de material, há desvios da previsão de Rutherford para a distribuição angular das partículas espalhadas, devido ao espalhamento múltiplo. Tal espalhamento é descrito em detalhes em [10], e a utilização de softwares de cálculo de freamento e espalhamento de partículas aceleradas em sólidos, como, por exemplo, o SRIM [11], permite obter as distribuições espaciais para cada feixe, calculando-se o transporte do feixe espalhado até a posição de irradiação. A necessidade de contar com uma instalação dedicada e otimizada para estudos de efeitos de radiação em materiais, principalmente dispositivos eletrônicos, levou ao projeto e construção do sistema SAFIIRA (acrônimo para SistemA de Feixes Iônicos para Irradiações e Aplicações). Foram realizados cálculos para diversos íons e condições, obtendo a configuração ótima conforme ilustrada na Figura 1. A Figura 2 ilustra a distribuição esperada para um arranjo de folhas e feixe. O projeto e construção do sistema contou com recursos do processo FAPESP 2012/03383-5 - “Desenvolvimento de Metodologia de Ensaios de Radiação em Componentes Eletrônicos”, sob coordenação do Prof. Dr. Nilberto Heder Medina do IFUSP, e do Projeto CITAR - “Circuitos Integrados Tolerantes à Radiação”, sob coordenação do Dr. Saulo Finco do CTI.

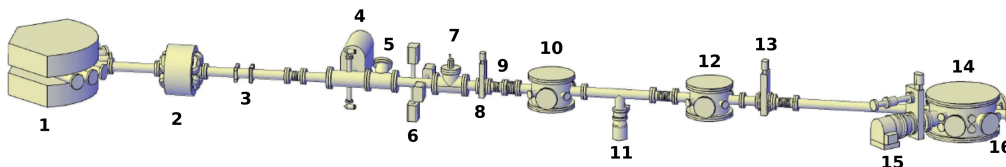


Figure 1: Projeto simplificado da canalização a 0° do acelerador Pelletron montada para o estudo de dispositivos eletrônicos com feixes de íons pesados (cortesia de J.C. Terassi)

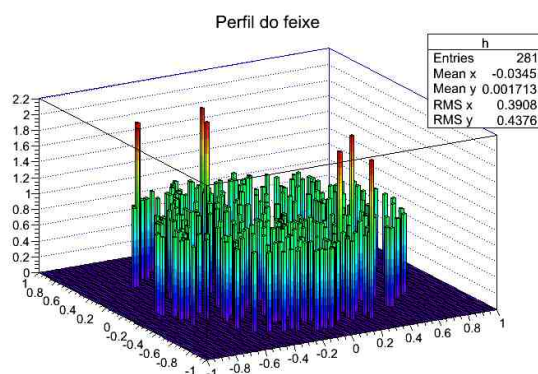


Figure 2: Perfil simulado do feixe na posição de irradiação. Íon: ^{16}O 50 MeV, combinação de folhas de 0,5 e 0,7 mg/cm^2 . Partículas simuladas: 10^6

Além do estudo de efeitos de radiação em dispositivos eletrônicos, feixes de íons pesados acelerados com características semelhantes podem ser utilizados para irradiação de diversos materiais, visando modificações em materiais [12], estudo de alterações em sistemas biológicos [13] e também estudos de efeitos de radiação em bens culturais analisados por técnicas de feixes iônicos [14].

2 Condições atuais da nova linha experimental

A nova canalização foi projetada para a produção de feixes de baixíssimo fluxo e alta uniformidade para feixes até ^{28}Si , utilizando-se técnicas de espalhamento múltiplo e desfocalização, e de ^{35}Cl a ^{107}Ag , através de técnicas de desfocalização. A canalização foi projetada com três câmaras de espalhamento, duas para o posicionamento de alvos de ouro e a terceira câmara, com diâmetro de 50

cm, para os testes dos dispositivos. O sistema foi desenhado para operar tanto para irradiações em vácuo, como também através de feixe externo, extraído através de uma fina janela de mylar após a terceira câmara.

O setor I, que compreende do Switching Magnet (1) até a válvula pneumática 1 (8) corresponde ao setor de ultra-alto vácuo e focalização/transporte do feixe. Neste setor localizam-se o quadrupolo (2), a bomba órbitron (4), o beam scanner, as fendas e o copo de Faraday (5-7), e obteve-se pressão constante de 6×10^{-8} Torr. No setor II, entre a válvula pneumática 1 (8) e a válvula pneumática 2 (13), localizam-se as câmaras espalhadoras de feixe e uma bomba turbo-molecular de 67 l/s. Estas câmaras podem ser utilizadas com detectores de qualquer tipo e atualmente operam em vácuo de 7×10^{-6} Torr (sem abrir a válvula 1). O setor III, que corresponde à câmara de irradiação, opera atualmente em 4×10^{-6} Torr e possui um estágio motorizado de precisão micrométrica e controle computadorizado através de sistema LabView. Em operação com feixe (válvulas abertas), obtém-se pressão de 7×10^{-7} Torr no setor I e 3×10^{-6} Torr nos setores II e III. O controle das fendas (6) é realizado por meio de um sistema projetado pelos técnicos do LAFN em conjunto com uma estação NI-PXI dedicada, assim como o controle do estágio motorizado para movimentação de amostras. A abertura e fechamento das válvulas, acionamento das bombas mecânicas e proteção do acelerador em caso de perda de vácuo são feitos através de um painel de controle projetado e construído pelos técnicos do LAFN.

3 Propostas do pedido de uso do acelerador

As uniformidades para os feixes de ^{12}C , ^{16}O e ^{28}Si foram obtidas simulando as trajetórias de 10^6 para diferentes pares de alvos de ouro. Todas as configurações para estes feixes fornecem entre 100 e 300 partículas/cm² para cada um milhão de partículas incidentes. A proposta do pedido de uso do acelerador consiste na caracterização da uniformidade espacial e em energia do feixe para verificação se as condições de projeto foram satisfeitas e caracterização da nova linha experimental quanto a todos os parâmetros de uso (ruído, estabilidade, etc). Os feixes de ^{12}C , ^{16}O e ^{28}Si serão caracterizados com alta estatística para diferentes combinações de alvos de ouro, e feixes mais pesados serão caracterizados com menor precisão. A caracterização é feita usando um detector de barreira de superfície na câmara 1 para normalização e um detector barreira de superfície montado no estágio motorizado para mapear o feixe no plano vertical. O colimador do detector móvel deve ser de 0,5 mm para permitir um levantamento preciso da uniformidade. A Tabela 1 sumariza as condições experimentais:

Tabela 1: Medidas a serem realizadas.

Feixe	Energia (MeV)	I (nA)*	Carga	Alvo 1 (mg/cm ²)	Alvo 2 (mg/cm ²)	Partículas/s/cm ² **	Pixels	taxa detector (part/s)	Tempo por pixel (s)**	Tempo Total (h)***
^{12}C	42	1	5	0,7	0,7	1,2E05	625	2,5E02	41	14
^{12}C	42	1	5	0,7	1,5	1,2E05	625	2,5E02	41	14
^{12}C	49	1	5	0,7	1,5	1,2E05	625	2,5E02	41	14
^{12}C	49	1	5	1,5	1,5	1,2E05	625	2,5E02	41	14
^{16}O	42	1	5	0,7	0,7	1,2E05	625	2,5E02	41	14
^{16}O	42	1	5	0,7	1,5	1,2E05	625	2,5E02	41	14
^{16}O	63	1	6	0,7	1,5	1,0E05	625	2,0E02	49	17
^{16}O	63	1	6	1,5	1,5	1,0E05	625	2,0E02	49	17
^{28}Si	63	1	6	0,5	0,7	1,0E05	625	2,0E02	49	17
^{28}Si	63	1	6	0,7	0,7	1,0E05	625	2,0E02	49	17
^{28}Si	80	1	8	0,7	0,7	7,8E04	625	1,5E02	65	23
^{28}Si	80	1	8	0,7	1,5	7,8E04	625	1,5E02	65	23
^{37}Cl	75	1	9	0,5	0,7	6,9E04	625	1,4E02	7	3
^{63}Cu	82	1	10	0,5	0,5	6,2E04	625	1,2E02	8	3
									Total (h):	204
									Total (d):	8,5

*corrente lida no copo de Faraday da canalização

**considerando 100 partículas na câmara 3 para cada 10^6 no FC

***para obter 10000 contagens

****considerando o tempo de mudança de posição como igual ao tempo de medida

Com base na estimativa de oito dias e meio de uso do acelerador, solicitamos 10 dias de máquina para efetuar também os ajustes necessários durante o primeiro experimento na nova linha experimental, cujos resultados de caracterização integram o projeto de doutorado do aluno Vitor Aguiar.

References

- [1] D.F. Heidel, K.P. Rodbell, E.H. Cannon, Jr. C. Cabral, M.S. Gordon, P. Oldiges, and H. H. K. Tang. Alpha-particle-induced upsets in advanced CMOS circuits and technology. *IBM Journal of Research and Development*, 52(3):225–232, may 2008.
- [2] ECSS. space engineering: methods for calculation of the radiation received and its effects, and a policy for design margins. Technical report, European Space Agency, 2008.
- [3] James R. Schwank, Marty R. Shaneyfelt, and Paul E. Dodd. Radiation hardness assurance testing of microelectronic devices and integrated circuits: Radiaiton environments, physical mechanisms and foundations for hardness assurance. Document 2008-6851P, Sandia National Laboratories, 2008.
- [4] ESA. Single event effects test method and guidelines. ESA/SCC Basic Specification 1, European Space Agency, October 1995. ESA/SCC Basic Specification 25100.
- [5] ASTM. Standard guide for the measurement of single event phenomena (SEP) induced by heavy ion irradiation of semiconductor devices. ASTM standard, American Society for Testing and Materials, 2006. F 1192-00.
- [6] EIA/JEDEC. Test procedures for the measurement of single-event effects in semiconductor devices from heavy ion irradiation. EIA/JEDEC standard, Electronic Industries Association, 1996. EIA/JESD57.
- [7] J. Wyss, D. Bisello, and D. Pantano. SIRAD: an irradiation facility at the LNL tandem accelerator for radiation damage studies on semiconductor detectors and electronic devices and systems. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 462:426–434, 2001.
- [8] E.C. Montenegro, G.B. Baptista, C.V. Barros Leite, A.G. de Pinho, and A.S. Paschoa. Study of a proton beam diffusing system for PIXE analysis. *Nuclear Instruments and Methods*, 164:231–234, 1979.
- [9] M. Belli, R. Cherubini, G. Galeazzi, S. Mazzucato, G. Moschini, O. Saporà, G. Simone, and M.A. Tabocchini. Proton irradiation facility for radiobiological studies at a 7 mv van de graaf accelerator. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 256:576–580, 1987.
- [10] L. Meyer. Plural and multiple scattering of low-energy heavy particles in solids. *Phys. stat. sol.*, 44:253–268, 1971.
- [11] J.P. Biersack e M.D. Ziegler J.F. Ziegler. *SRIM: The Stopping and Range of Ions in Matter*. SRIM Co., 2008.
- [12] C. Kim, S. Ahn, and D. Jang. Review: Developments in micro/nanoscale fabrication by focused ion beams. *Vacuum*, 86:1014–1035, 2012.
- [13] K. Murai, A. Nishiura, Y. Kazama, and T. Abe. A large-scale mutant panel in wheat developed using heavy-ion beam mutagenesis and its application to genetic research. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 314:59–62, 2013.
- [14] A. Zucchiatti and F. Agulló-Lopez. Potential consequences of ion beam analysis on objects from our cultural heritage: an appraisal. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 278:106–114, 2012.