

Influence of Ionizing Radiation on Optical Glasses for Space Applications

*L. F. Santos and M. A. Stefani

Opto Eletrônica S.A.

Rua Joaquim A. R. de Souza, 1071, 13563-330, São Carlos, SP, Brazil

lucas@opto.com.br

Abstract

The influence of ionizing radiation on the transmittance spectra of two types of optical glass have been studied at different dose levels to evaluate the impact of space radiation on spacecraft optics. The transmittance spectra of optical glasses is very sensitive to radiation in the blue region for total doses higher than 10 krad(Si). The determination of dose coefficient curves for glasses irradiated up to 100 krad(Si) allowed the extrapolation of the influence of radiation of the optical properties of glasses in a broad range of dose levels. Time-dependent effects were observed in the transmittance of the samples stored after irradiation, which may be responsible to variations on the dose coefficient curve with the total absorbed dose in one type of glass.

Introduction

Space radiation is probably the most hazardous environmental variable which affects the performance of spacecraft optical devices. Imaging cameras for remote sensing from satellites are typically composed by lenses systems with several optical elements. The optical glasses used to produce the lenses of a refractive based optical system are usually very sensitive to ionizing radiation, even are relatively low total absorbed dose levels. One of the main kind of damage caused by the exposure of optical glasses to ionizing radiation is the darkening (or transmittance loss) in the blue region of the visible spectrum, due to formation of color centers. Transmittance loss leads to a decrease on the image signal and, consequently, to a decrease on the signal-to-noise ratio, which can make the optical system practically ineffective at higher total absorbed dose levels. For this reason it is very important to evaluate the real influence of the radiation on the transmittance spectra of all kinds of glasses that compose the optical system and, if necessary, to increase the thickness of the subsystem shielding.

We have developed the lenses of an optical subsystem which will be provided with the China Brazil Earth Resources Satellites 3 and 4 (CBERS 3&4). For this study, we have selected different types of optical glasses in order to simulate the space radiation environment at which the subsystem will be exposed. Even though the satellite will follow a polar low earth orbit (LEO) at 778 km of altitude, which is characterized by the relatively low levels of space radiation, the effects on the optical components can not be completely neglected. Hence, it is important to consider the composition, the fluence and the spectra of the different kinds of incident radiation, as well as the characteristics of the shielding used to evaluate the real total accumulated absorbed dose for the whole satellite lifetime.

In this orbit, the space radiation is basically composed by: i) Trapped radiation, composed by a broad spectrum of charged particles (mainly prótons and electrons), which compose the known radiation belts; ii) Cosmic rays, composed by highly energetic nuclei from elements of practically the whole periodic table (heavy ions); and iii) Solar flares, mainly composed by protons and electrons preceding from the Sun. Additionally, there is the occurrence of electromagnetic radiation from the bremsstrahlung of charged particles in the spacecraft shielding. However, the major contribution to the total dose comes from high energy protons and electrons. Since experiments using charged particles as the source of radiation can not be easily carried out, we preferred to simulate the particle space radiation.

Experimental Setup

Samples of two Schott glasses (a flint type, SF11, and a crown type, PSK3) were irradiated with gamma radiation from a ^{60}Co . A gamma radiation source from the nuclear decay ^{60}Co isotopes.

A double-beam spectrophotometer (Hitachi 2001 model) was used to measure the transmittance spectra of 25x25x10 mm (10 mm of optical path) glass samples.

Results and Discussions

Para termos uma avaliação preliminar de como a dose de radiação afeta a transmitância dos vidros ópticos, utilizamos uma fonte de radiação gama de Cobalto 60 (Gamma Cell – ^{60}Co), disponibilizada pelo Centro de Tecnologia das Radiações do Instituto de Pesquisas Nucleares (CTR/IPEN/CNEN – SP). A escolha deste tipo de radiação se deu pelo fato da mesma ser altamente penetrante e de relativamente fácil manipulação, sendo ideal para simular os efeitos acumulativos dos diferentes tipos de radiação espacial a que o sistema óptico estará exposto em órbita. Para tanto, foram separados corpos de prova de 10 mm de espessura de dois tipos de vidro: um do tipo flint (SF11) e outro do tipo crown (PSK3), ambos da Schott, que foram expostos a doses entre 10 e 100 krad, a uma taxa de dose de 355 krad/h. Nestes ensaios preliminares, ficou confirmado que a transmitância efetivamente diminuiu (entre 8% e 12% em 485 nm), mesmo para uma dose relativamente baixa de 10 krad. Além disso, foram observados diferentes comportamentos da curva de transmitância com a dose de radiação para os dois tipos de vidro, conforme observado na Figure 1 abaixo.

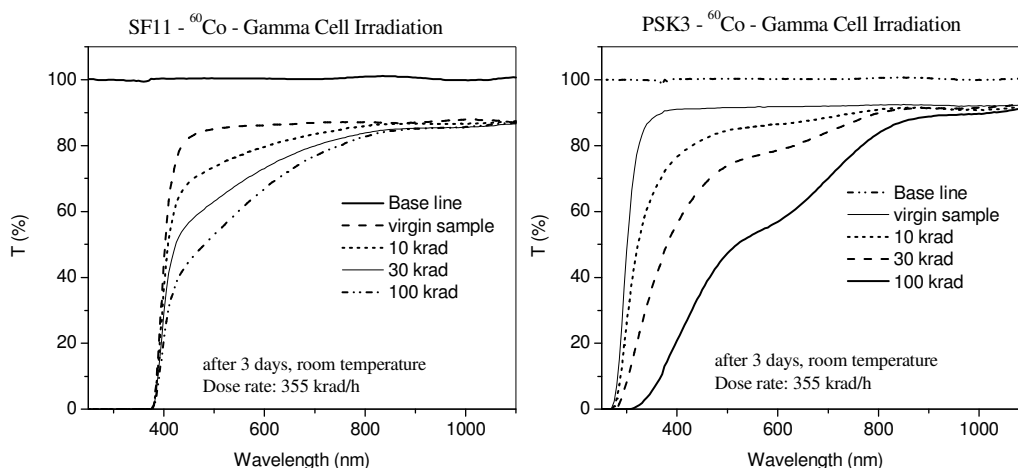


Figure 1: Transmittance spectra of two optical glasses after gamma ray irradiation.

Foi observado que, apesar do SF11 apresentar inicialmente uma menor transmitância que o PSK3, ele apresenta uma perda de transmitância com a dose muito menos acentuada, sendo, portanto, mais resistente à radiação. Este efeito pode ser bem quantificado quando consideramos o deslocamento do comprimento de onda para o qual o vidro apresenta uma transmitância de 50% (Tabela 1). Apesar deste comprimento de onda para o SF11, antes da irradiação, ser bem maior que para o PSK3 (402.7 nm contra 301.6 nm, respectivamente), o vidro flint apresentou um deslocamento de cerca de 80 nm para uma dose de 100 krad enquanto o vidro crown apresentou um deslocamento de 217 nm para a mesma dose.

Um outro efeito interessante observado foi a diminuição, com o tempo, do escurecimento observado logo após a irradiação dos vidros. A Figure 2 também compara o deslocamento do comprimento de onda a 50% de transmitância medida 3 dias e 2 meses após a irradiação. Isto é uma evidência de que uma fração dos defeitos induzidos pela radiação gama são meta-estáveis, retornando ao seu estado original após um determinado tempo de relaxação.

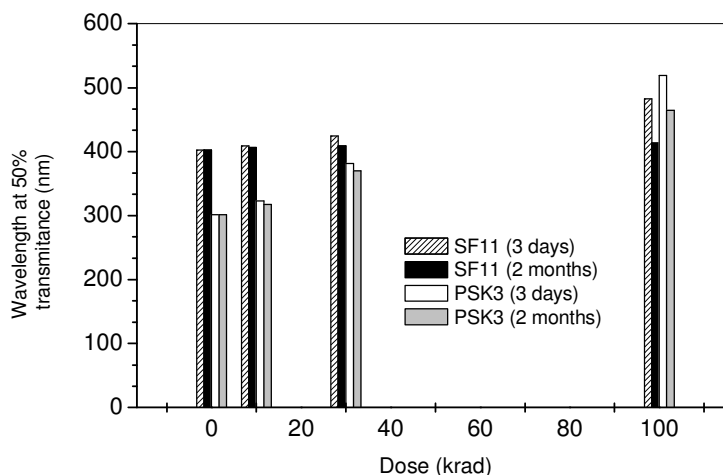


Figure 2: Time relaxation of the transmittance loss due to gamma ray irradiation for Schott glasses.

A partir destes resultados, observa-se que o SF11 apresenta apenas uma pequena perda na transmitância, em comparação com o PSK3, se considerarmos um tempo de repouso de 2 meses, mesmo para uma dose de 100 krad. Por outro lado, apesar do PSK3 também apresentar uma diminuição no escurecimento com o tempo, a variação total na transmitância ainda é bastante acentuada. Esta análise mostra que nem sempre pode se considerar a perda na transmitância como sendo dependente simplesmente da dose total de radiação, sendo preciso considerar a dinâmica de relaxação dos defeitos gerados. Apesar do sistema em órbita estar constantemente sujeito à radiação, a taxa de dose é muitas ordens de grandeza inferior às utilizadas nos ensaios, o que torna difícil inferir sobre qual será o resultado efetivo a ser considerado na transmitância de um determinado vidro. Um estudo mais aprofundado deverá ser realizado para constatar se esta variação está relacionada com um tempo de relaxação mais longo dos defeitos, ou simplesmente com a maior quantidade de espécies geradas. Ainda será preciso observar os efeitos da dose na relaxação e na perda total de transmitância para se chegar a uma estimativa real dos efeitos da radiação espacial a que o subsistema estará exposto durante os 3 anos de órbita.

Para se ter uma estimativa dos efeitos da dose de radiação sobre o sistema óptico como um todo, é preciso ter informações sobre os efeitos sobre cada tipo de vidro utilizado no sistema, tão bem quanto a geometria de cada lente. Para tanto, usamos o procedimento proposto por Fruit et al. [1] para se chegar a um coeficiente de dose que permita determinar a perda na transmitância de um determinado vidro exposto a um determinado tipo de radiação. Este procedimento permitiu o cálculo dos coeficientes de dose dos dois tipos de vidro ensaiados, conforme mostra a Figure 3. Tal como observado em [1], nem sempre é possível se chegar a uma curva universal para o coeficiente de dose de um determinado vidro, havendo uma certa dependência com a dose de radiação, como observado para a curva do coeficiente de dose obtida para o SF11 (Figure 3). Adicionalmente, foi observado que não existe um único padrão de comportamento da curva do coeficiente de dose com a dose total, diferindo mesmo para vidros que pertencem à mesma família. No entanto, apesar de ser mais susceptível à radiação, o PSK3 apresentou um comportamento que se aproxima ao de uma curva universal para o coeficiente de dose (Figure 4).

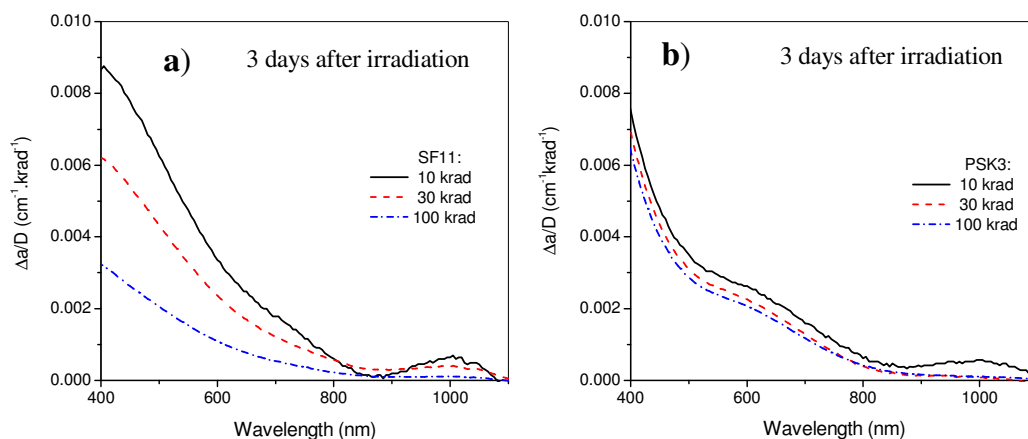


Figure 3: Dose coefficients for Schott glasses 3 days after ^{60}Co irradiation.

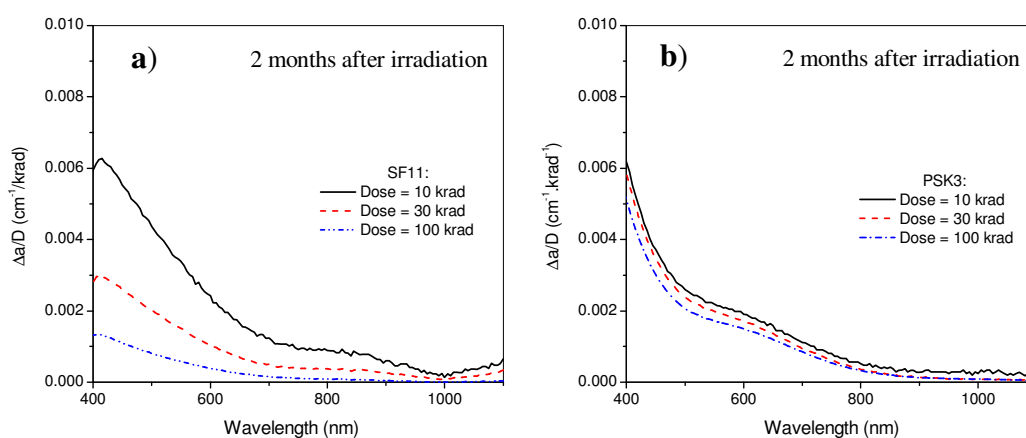


Figure 4: Dose coefficients for Schott glasses 2 months after ^{60}Co irradiation.

Conclusions

We have seen that gamma irradiation levels up to 100 krad can significantly affect the transmittance of optical glasses in the blue region of the visible spectrum. Glass darkening due to the formation of color centers can almost completely extinguish the light transmission of an optical device composed by a set of lenses. The dose coefficient approach can be an useful tool to evaluate the transmittance loss at any extrapolated value of total absorbed dose.

Acknowledgements

The authors are grateful to Mr. C.E. Gaia and to Mr. W.A.P. Calvo for the valuable collaboration in the irradiation of the samples at the Centro de Tecnologia da Radiação CTR – IPEN – CNEN/SP.

References

- [1] M. FRUIT, A. GUSAROV, D. DOYLE, G. ULBRICH, Radiation Impact on Space Borne Optics: The “Dose Coefficients” Approach, SPIE Proceedings vol. 3872, (1999).
- [2] M. FRUIT, A. GUSAROV, D. DOYLE, G. ULBRICH, A. HERMANNE, Space Radiation Sensitivity of Glasses: First Results towards a Comprehensive Dose Coefficients Database, Photonics for Space Environments - Proceedings of SPIE, vol. 4134 (2000).
- [3] DOYLE, R.H. CZICHY, Influences of Simulated Radiation on Optical Glasses, Space Optics 1994: Space Instrumentation and Spacecraft Optics SPIE Proceedings. vol. 2210, 434-448 (1994).