

## Kurzzusammenfassung

In dieser Arbeit werden die Ursachen und die Entwicklung von optischen Absorptionszentren, die wir Strahlenschaden nennen, in Plastik-Szintillatoren und Lichtleitern für die Hochenergiephysik (HEP) untersucht. Als Basismaterial für die Plastik-Szintillatoren dienen vorwiegend die Polymere Polystyrol (PS) und Polymethylmethacrylat (PMMA). Aufgrund der weiten Verbreitung sind PS und PMMA bis heute von großer Bedeutung für den Detektorbau in der HEP.

In Beschleunigern wie HERA am DESY werden hochenergetische Elektronen (Positronen) mit einer Energie von 30 GeV auf Protonen mit 920 GeV geschossen. Durch tief inelastische Streuung der Elektronen an den Protonen entstehen elektromagnetische und hadronische Schauer, die zu einer hohen Strahlenbelastung der Detektorkomponenten durch  $\gamma$ - und Neutronen-Strahlung führen. Bei zukünftigen Beschleunigern wird der Anteil der schnellen Neutronen deutlich erhöht sein. Aus diesem Grund widmet sich diese Arbeit insbesondere den durch schnelle Neutronen induzierten Strahlenschäden. Diese Strahlenschäden in PS und PMMA wurden mit Hilfe optischer Transmissions-Spektroskopie und der Elektron-Spin-Resonanz-Spektroskopie (ESR) untersucht.

Durch die ionisierende  $\gamma$ - und Neutronen-Strahlung werden optische Absorptionszentren in den Materialien gebildet. Diese Absorptionszentren sind zunächst radikalischer Natur. Durch Umsetzung der Radikale untereinander und mit Hilfe von Sauerstoff werden die durch Strahlung gebildeten veränderlichen Absorptionszentren abgebaut und neue permanente, nichtradikalische Absorptionszentren gebildet. Es wird aufgezeigt, in welchem Wellenlängenbereich die Radikale optisch absorbieren.

Bisherige Untersuchungen der „Strahlenhärte“ gehen von Bestrahlungen mit einer  $^{60}\text{Co}$ -Quelle aus, die  $\gamma$ -Strahlung einer Energie von 1,3 MeV emittiert. Meist werden Bestrahlungsquellen mit einer Dosisleistung von einigen 100 Gy/h bis zu einigen kGy/h eingesetzt. Diese Dosisleistungen führen noch während der Bestrahlung zu einem vollkommenen Abbau des gelösten Sauerstoffs in den untersuchten Materialien.

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass sowohl die Anwesenheit von Sauerstoff bei Bestrahlung und die dadurch gebildeten Peroxide, als auch der Lineare Energie Transfer (LET) der Strahlung, untersucht am Vergleich zwischen  $\gamma$ - und Neutronen-Strahlung, ganz erheblichen Einfluss auf den gebildeten Strahlenschaden in PS und PMMA haben.

In PMMA führt der hohe LET von Neutronen zu einem wesentlich erhöhten veränderlichen Strahlenschaden. Im Polystyrol ist durch den hohen LET der Neutronen mit einer Erhöhung des permanenten Schadens zu rechnen, der bis zu einem Faktor 10 über den Schäden nach bisherigen Untersuchungsmethoden liegt. Ursache dafür sind Reaktionsmechanismen der gebildeten Radikale, die unter den neuen Bestrahlungsbedingungen einen höheren Stellenwert einnehmen und deren Untersuchung unerlässlich für den Bau neuer Detektorkomponenten auf der Basis dieser Kunststoffe ist. Insbesondere liefern sie Erkenntnisse über die Szintillationslichtausbeute der Materialien SCSN38 und SCSN81 T2 (Kuraray).

## Abstract

The aim of this work is to study the formation of optical absorption centres in plastic scintillators and light guides after  $\gamma$  and neutron irradiation. We call the formation of absorption centers radiation damage. Often used basic materials for plastic scintillators and light guides are the Polymers Polystyrene (PS) and PolyMethylMethAcrylate (PMMA) which are used in detectors in High Energy Physics (HEP) up to date.

At accelerators like HERA at DESY high energetic electrons with 30 GeV hit protons with 920 GeV. The deep inelastic scattering of these particles caused electromagnetic and hadronic showers, which are responsible for the high radiation stress of the detector components. In future accelerators the part of fast neutrons of the radiation stress will be increased very much because of the interaction of the hadronic showers with the detector materials. So we took our special interest to the neutron induced radiation damages in Polystyrene and PMMA. These irradiation damages in PS and PMMA were examined by UV-VIS Spectroscopy and Elektron Spin Resonance (ESR) Spectroscopy.

$\gamma$  and neutron irradiation caused the formation of radicals. Some of these radicals absorb the light in the UV-VIS spectrum. The interaction of these radicals with each other and with oxygen are the reasons for the degradation of the radicals and the formation of permanent optical absorption centres. In this work it is also shown, which radicals form the non permanent optical absorption centers.

Present studies of the radiation hardness were performed with a  $^{60}\text{Co}$  source with a dose rate up to a few kGy/h. These high dose rates are responsible for the complete degradation of the dissolved oxygen in the materials during the process of irradiation. As we will see, the presence of oxygen and the resulting formation of peroxy radicals on the one hand, as well as the Linear Energy Transfer (LET), compared by  $\gamma$  and neutron irradiations on the other hand, have important influence to the value and nature of the radiation damage.

In PMMA the high LET of neutron irradiation causes increased concentrations of radicals. In PS the high LET of the neutrons is responsible for the increasement of the permanent damage by a factor up to ten concerning  $\gamma$ -irradiations. At low dose rate and the resulting influence of the peroxides, the permanent damage is also increased by a factor up to seven. The reasons for the increasing permanent radiation damage are chemical reactions between the radicals and chemical reactions of the peroxides.

These studies take more realistic irradiation conditions into account. They show, that the LET and the dose rate are important parameters for the estimation of radiation damages in plastic scintillators and their basic materials Polystyrene and PMMA. These parameters also allow a better estimation of the light yield of irradiated scintillators SCSN38 and SCSN81 T2 (Kuraray).