



طراحی دزیومتر قابل کاشت در بدن به کمک MOSFET

سارا مدرس رضوی، پیوتر ستارسکی

Chalmers University of Technology
Micropos Medical Center

چکیده

استفاده از تکنیکهای رادیوتراپی جدید، که مقدار دزهای بالاتری را به یک حجم مشخصی از بدن وارد می‌کنند، نیاز به داشتن راه‌حلهایی برای اندازه‌گیری مقدار دز وارد شده به بدن را روز به روز افزایش می‌دهد. هدف از این مقاله طراحی یک دزیومتر قابل کاشت در درون بدن (Implantable) به کمک تکنولوژی MOSFET می‌باشد. این دزیومتر شامل دو بخش نرم‌افزار و سخت‌افزار بوده و کل سیستم توسط چشمه ^{14}C تا بیش از 100 Gy تابش داده شده است. آزمایشات نشان می‌دهد که یک رابطه نسبتاً خطی بین تغییرات ولتاژ خروجی MOSFET با مقدار دز تابش شده وجود دارد.

کلید واژه: دزیومتر, MOSFET, قابل کاشت, تابش گاما, ولتاژ گیت

۱- مقدمه

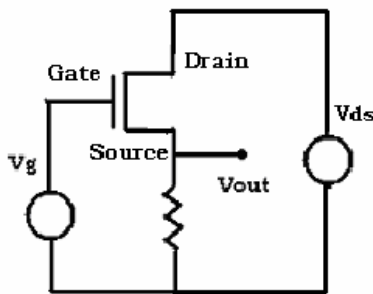
در تکنیک رادیوتراپی، دانستن میزان دز حقیقی وارد شده به عضو در حال پرتودهی بسیار قابل اهمیت است. بدین منظور نیاز به تکنولوژی وجود دارد که نه تنها عمل اصلی یعنی اندازه‌گیری دز را انجام دهد بلکه اندازه آن کوچک بوده و قابل انتقال در بدن نیز باشد. نیمه هادی‌ها از جمله موادی هستند که بر اثر تابش گاما تغییراتی بر روی مشخصات الکتریکی آنها صورت می‌گیرد. از جمله انواع نیمه هادی‌ها می‌توان به MOSFET ها اشاره کرد که در اندازه‌های بسیار کوچک در حد چند میلی‌متر مکعب قابل دسترس هستند. در این پروژه به طراحی یک مدار که توسط تغییرات ولتاژ گیت یک MOSFET می‌تواند میزان دز دریافت شده را اندازه‌گیری کند، می‌پردازیم. این مدار از یک بخش سخت افزار که در معرض تابش قرار می‌گیرد و یک بخش نرم افزار LabView که به صورت همزمان میزان ولتاژ خروجی MOSFET را ثبت می‌کند، تشکیل شده است.

کل سیستم طراحی شده تحت اثر یک چشمه ^{60}Co در بیمارستان تخصصی سالگرنسکا در شهر گوتمبرگ سوئد مورد آزمایش قرار گرفته است. از روی نتایج آزمایشات نشان داده می‌شود که می‌توان از MOSFET به عنوان یک دزیتر قابل استفاده در بدن استفاده کرد.

۲- تأثیر پرتو گاما بر روی MOSFET

پرتوهای گاما فوتونهای با انرژی بالا می‌باشند که قابلیت نفوذ در درون مواد جامد تا عمق چند ده میلیمتر را بدون اینکه ماده تأثیری بر روی آن بگذارد دارند [۱]. این پرتو با برخورد به یک نیمه هادی، می‌تواند مشخصات الکتریکی آن را تغییر دهد. زمانی که یک MOSFET در معرض تابش گاما قرار می‌گیرد یک جفت الکترون - حفره در درون قسمت اکسید تولید می‌شود. الکترون به علت تحرک بالا در قسمت اکسید به سمت گیت جذب می‌شود ولی حفره بین حد فاصل اکسید و نیمه هادی باقی می‌ماند. این در صورتی است که گیت با ولتاژ مثبت در نظر گرفته شود.

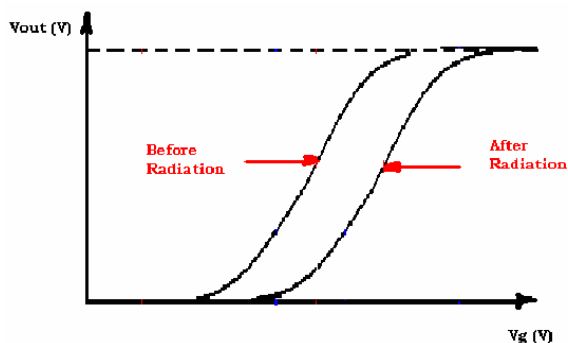
به این صورت بر اثر تابش گاما میزان بار ثابت درون قسمت اکسید MOSFET به علت افزایش تمرکز الکترونها افزایش می‌یابد.



شکل ۱: مدار MOSFET به عنوان دزیومتر

شکل ۱ چگونگی استفاده از MOSFET صرف نظر از نوع آن (p-channel / n-channel) به عنوان یک دزیومتر نمایش داده شده است.

با اعمال یک ولتاژ مثبت به V_{ds} و تغییر ولتاژ گیت V_g از ۰ تا V_{ds} می توان MOSFET را از حالت بسته به حالت هدایت تبدیل کرد. زمانی که کانال MOSFET باز می شود ولتاژ خروجی V_{out} شروع به افزایش می کند. با خواندن مقدار V_g زمانی که V_{out} در حال افزایش است می توان ولتاژ آستانه MOSFET را مشخص کرد. بعد از تابش، این ولتاژ آستانه به V_g بالاتری منتقل می شود و در نتیجه MOSFET در ولتاژ گیت بالاتری به حالت هدایت می رسد.



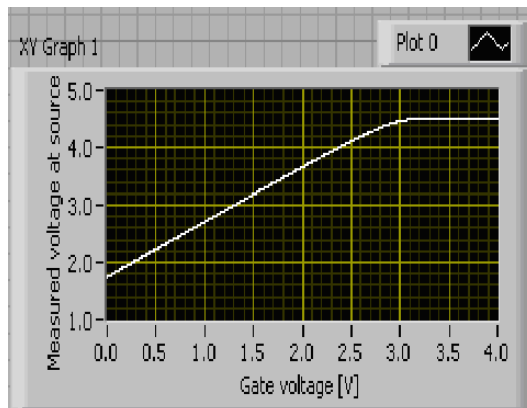
شکل ۲: شیفت آستانه ولتاژ بعد از تابش

برای استفاده از MOSFET به عنوان دزیومتر باید مداری طراحی کرد که بتواند V_g را تغییر دهد و نیز قادر باشد که مقدار V_{out} را به ازای هر V_g تغییر یافته، اندازه گیری کند. شکل ۲ رفتار MOSFET را قبل و بعد از تابش نمایش می دهد. شیفت نمودار ولتاژ گیت MOSFET است که به اندازه گیری میزان دز جذب شده کمک می کند [۲].

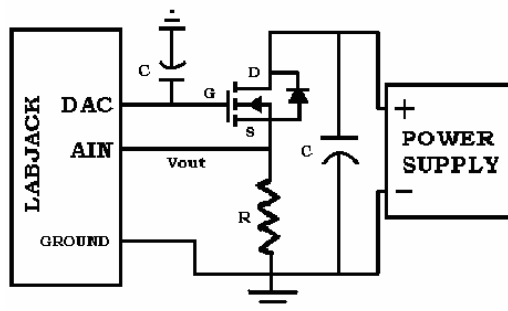
۳- روش کار

LabView از National Instrument نرم افزار تخصصی مورد استفاده به منظور ارتباط برقرار کردن با مدار مورد نظر است. LabJack UE9، یک دستگاه چند منظوره است و به عنوان کارت ولتاژ ورودی و خروجی مدار به LabView به کار برده شده است. از نرم افزار انتظار می رود که یک ولتاژ گیت متغیر برای مدار ایجاد کند و ولتاژ خروجی منحصر به هر ولتاژ گیت را اندازه گیری و ثبت کند و به صورت نمودار بر روی مانیتور نمایش دهد. شکل ۳ نحوه نمایش منحنی ولتاژ خروجی بر حسب ولتاژ گیت را بر روی نرم افزار نمایش می دهد.

شکل ۴ شمای کلی چگونگی اتصال بخشهای مختلف سخت افزار مدار را نمایش می دهد. وجود خازنها در مدار به منظور کاهش ریپل ولتاژهای منابع تغذیه است.



شکل ۳: نمایش منحنی ولتاژ خروجی بر حسب ولتاژ گیت بر روی نرم افزار



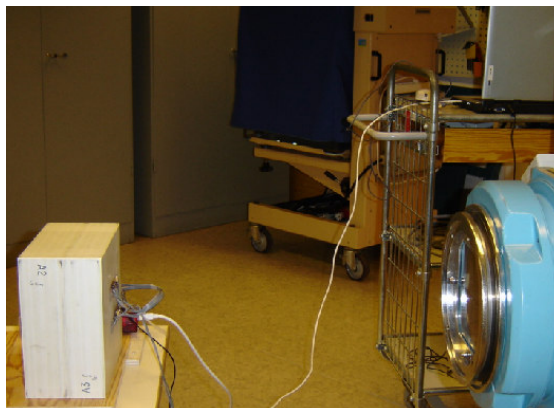
شکل ۴: مدلسازی مدار MOSFET

به منظور داشتن دقت در اندازه گیری می باید همواره MOSFET را در تمام دوران استفاده به عنوان دزیمر در دمای ثابت نگاه داشت [۳].

۴ - نتایج

در این پروژه برای بالا بردن دقت آزمایش از چهار MOSFET به طور هم زمان استفاده می شود. MOSFET مورد استفاده در این آزمایش از نوع STT4PF30L, P-channel STripFET II, Power MOSFET TTL است.

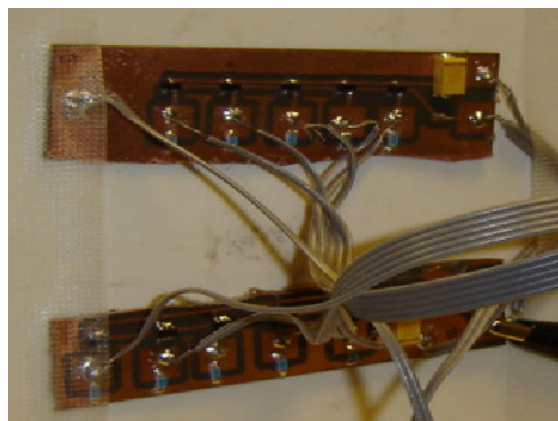
جدول ۱ مشخصات پارامترهای مختلف اندازه گیری، شکل ۵، کل سیستم اندازه گیری در محل آزمایش و شکل ۶ مدار شامل MOSFET ها را در زمان پرتو دهی نمایش می دهند.



شکل ۵: فاصله بین چشمه کبالت و MOSFET ها یک متر در نظر گرفته شده است.

جدول ۱: مشخصات پارامترهای مختلف اندازه گیری

پارامتر	مقدار
منبع پرتو	C060
فاصله مدار از منبع	100 cm
مقیاس اندازه میدان	10cm * 10cm
ولتاژ منبع تغذیه	4.7 V (Test 1) 4.85 V (Test 2)

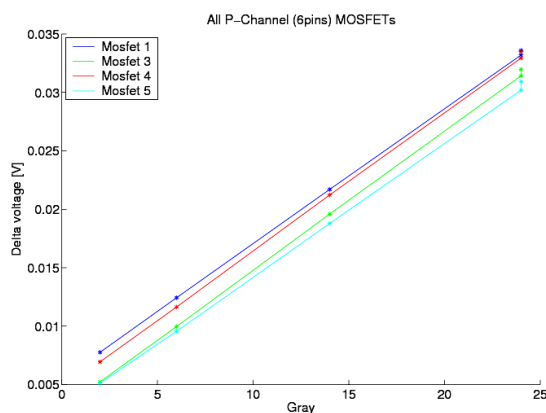


شکل ۶: مدار شامل MOSFET ها در زمان پرتو دهی

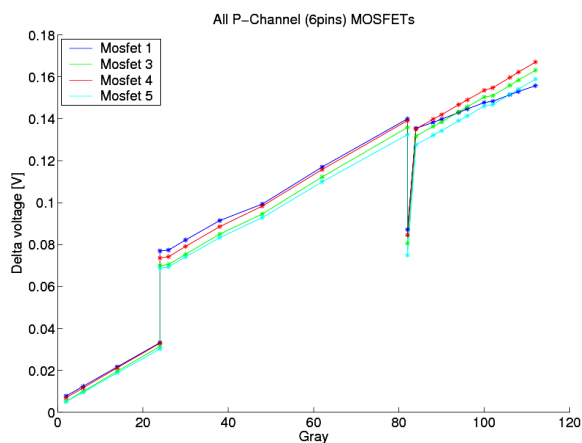
این مدار در سه روز مختلف پرتو دهی شده است. در نوبت اول MOSFET ها بین ۰ تا ۲۴ Gy پرتو دهی شده اند و در تابش‌های ۲ Gy, ۶ Gy, ۱۴ Gy و ۲۴ Gy ولتاژ خروجی آنها توسط نرم افزار محاسبه گردیده است. شکل ۷ نمایش اختلاف ولتاژ خروجی را بر حسب میزان دز تابش شده نمایش می دهد. محور عمودی

برحسب ولتاژ و محور عمودی بر حسب Gy می باشد. همان طور که ملاحظه می شود برای هر چهار MOSFET آزمایش شده این رابطه با تقریب بسیار خوبی خطی است.

در نوبت پرتو دهی دوم، MOSFET هایی را که تا کنون ۲۴ Gy پرتو خورده اند، تا ۸۲ Gy پرتو داده می شوند و در نوبت سوم پرتو دهی تا ۱۱۲ Gy افزایش می یابد. شکل ۸ نمایش رفتار MOSFET ها در کل بازه پرتو دهی (سه نوبت) را نشان می دهد. از این شکل می توان به خطی بودن تغییرات ولتاژ خروجی نسبت به دز تاییده شده پی برد.



شکل ۷: رابطه خطی اختلاف ولتاژ خروجی بر حسب میزان دز تابش شده به چهار MOSFET



شکل ۸: نمایش رفتار MOSFET ها در کل بازه پرتو دهی

تفاوت اختلاف ولتاژ در مرز بین نوبت اول و دوم پرتو دهی به علت تفاوت در ولتاژ منبع تغذیه مدار می باشد. به این دلیل می توان نتیجه گرفت که ولتاژ منبع تغذیه باید در هر دوره تابش بر روی میزان ثابتی تنظیم شود.

با مطالعه شکل ۸ می توان بیان کرد که رابطه خطی در 2 Gy اولیه پرتودهی در هر نوبت دیده نمی شود و در نتیجه برای دست یافتن به رابطه خطی به منظور اندازه گیری دز می باید MOSFET ها را تا 2 Gy پیش تابش کرد.

۵- بحث و نتیجه گیری

یک رابطه خطی بین اختلاف ولتاژ خروجی MOSFET و میزان دز تابیده شده به آن وجود دارد. در نتیجه MOSFET می تواند یک راه حل مناسب برای ساختن دزیومتر قابل کاشت در بدن باشد به شرط آن که 2 Gy پیش تابش قبل از هر دوره پرتودهی در نظر گرفته شود و ولتاژ منبع تغذیه در تمام مراحل پرتودهی ثابت نگاه داشته شود. نتایج نشان می دهد که رفتار خطی MOSFET تا بیش از 100 Gy نیز ادامه خواهد داشت. MOSFET، یک نیمه هادی بسیار کوچک است، که به راحتی می تواند توسط کاتیتر وارد بدن شده و از آنجا مقدار دز تابیده شده در یک دوره رادیوتراپی را اندازه گیری کند.

سپاسگزاری

نویسنده کمال تشکر و قدردانی را از شرکت Micropos Medical Center به علت دادن امکانات برای انجام این پروژه و از Roman Iostin و Stefan Horrdin برای همکاری و راهنماییهای سودمندشان دارد.

مراجع

- [1] Hyper Physics, Department of Physics and Astronomy of Georgia State University
<http://hyperphysics.phyastr.gsu.edu/hbase/hframe.html>
- [2] A Holmes-Siedle, L. Adams, "Handbook of radiation effects" Oxford university press, 2002.
- [3] T, Cheung, M. J. Buston, P. K. N. Yu, "Effects of Temperature variation on MOSFET dosimetry", IEEE paper, June 2004.
- [4] Scarantino}C. W. Scarantino, D. M. Ruslander, C. J. Rini, G. G. Mann, H. T. Nagle, R. D. Black, "An implantable radiation dosimeter for external beam radiation therapy" Med. Phys., sep 2004.
- [5] C. W. Scarantino, D. M. Ruslander, C. J. Rini, G. G. Mann, H. T. Nagle, R. D. Black, "An Implantable Radiation Dosimeter for use in External Beam Radiation Therapy", Medical Physics, Vol. 31, PP. 2658-2671, 2004.
- [6] C. W. Scarantino, C. J. Rini, M. Aquino, T. B. Carrea, R. D. Ornitz, M. S. Anscher, R. D. Black, "The Initial Clinical results of an In Vivo Dosimeter during External Beam Radiation Therapy", Int. J. of Radiation Oncology Biol. Phys. , Vol. 62, PP 606-613, 2005