
Clinical radiation therapy measurements with a new commercial synthetic single crystal diamond detector

Wolfram U. Laub,^a Richard Crilly

Department of Radiation Medicine, Oregon Health & Science University, Portland,
OR, USA

JOURNAL OF APPLIED CLINICAL MEDICAL PHYSICS, VOLUME 15, NUMBER 6, 2014

Opracowanie:

Iwona Markiewicz

Pracownia Dozymetrii

Zakład Fizyki Medycznej

COI Warszawa



MARIA
SKŁODOWSKA
-CURIE
MEMORIAL
CANCER CENTER



CEL



- Zbadanie właściwości dozymetrycznych komercyjnego detektora diamentowego
Syntetic Single Crystal Diamond Detector (SCDD) microDiamond typ 60019 (PTW-Freiburg)
- Określenie czy detektor ma zastosowanie do pomiarów wysokich energii promieniowania fotonowego (X-15MV) oraz do pomiarów dużych pól
- Zbadano:
 - zależność odpowiedzi detektora od dawki zaabsorbowanej (prąd ciemny)
 - zależność energetyczną detektora
- wykonane pomiary porównano z analogicznymi wykonanymi dla naturalnego detektora diamentowego typ 60003 (PTW-Freiburg)
- Zmierzono:
 - PDD dla wiązek fotonowych i elektronowych
 - profile dla wiązek fotonowych i elektronowych

Materiały i metody



- Akcelerator Elekta Synergy (Elekta, Stockholm, Sweden)
- Energie fotonowe X 6,10,15MV
- Energie elektronowe 6,9,12,15,20MeV

- Pomiary wykonano detektorami i sprzętem (firmy PTW Fraiburg):
 - microDiamond detektor typ 60019 z dawkomierzem Unidos E
 - microDiamond detektor typ 60019 i Tandem Dual-Channel w fantomie wodnym MP3-M

- **wiązki fotonowe**
 - komora jonizacyjna Semiflex typ 31010;
 - microLion typ 31018;
 - P Dioda typ 60016;
 - SRS Dioda typ 60018;
 - microDiamond detektor typ 60019 (wszystkie PTW Fraiburg)

- **wiązki elektronowe**
 - komora Markus typ 13343,
 - E Dioda typ 60017;
 - microDiamond detektor typ 60019 (wszystkie PTW Fraiburg)

Materiały i metody



SCDD pojedynczy syntetyczny kryształ diamentu o objętości czynnej $0,004\text{mm}^2$ w kształcie dysku umieszczony na polistyrenie w obudowie epoksydowej o średnicy $0,7\text{mm}$; powierzchnia kryształu znajduje się $1,0\text{mm}$ poniżej wierzchołka obudowy



Syntetic Single Crystal Diamond Detector (SCDD) microDiamond typ 60019

Materiały i metody



- **zależność odpowiedzi detektora od dawki zaabsorbowanej (prąd ciemny)**
 - detektor pozycjonowano na oś centralną w fantomie wodnym, prostopadle do powierzchni wody na głębokości $d=10\text{cm}$
 - geometria: pole $10\times 10\text{cm}^2$
- dla uzyskania stabilnych odczytów detektor napromieniono wstępnie dawką 8Gy
- napromieniano 50MU wiązką fotonową 6MV (34cGy)

Materiały i metody



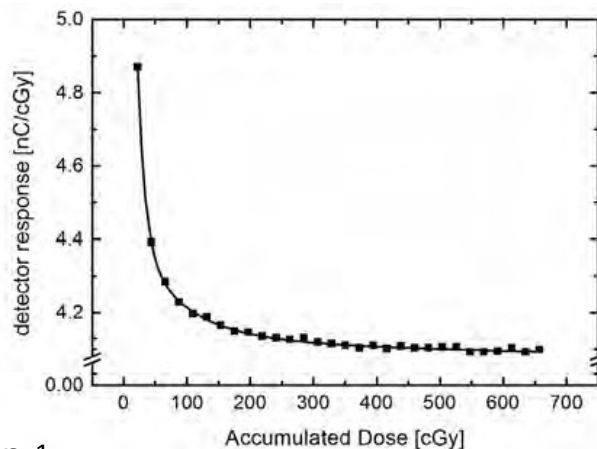
- **zależność energetyczna**
- Test wykonano:
 - dla wiązek fotonowych w fantomie wodnym na głębokości $d=10\text{cm}$ dla pola $10\times 10\text{cm}^2$
 - dla wiązek elektronowych (aplikator $10\text{cm} \times 10\text{cm}$) na głębokości $d=d_{\text{ref}}$
- **procentowa dawka głęboka (PDD) i profile ($d=10\text{cm}$) FOTONY**
- PDD i profile zmierzono dla dostępnych energii fotonowych $\text{SSD}=100\text{cm}$ dla rozmiarów pól $3\times 3\text{cm}^2$, $10\times 10\text{cm}^2$, $30\times 30\text{cm}^2$.
- dla porównania wykonano pomiary detektorami:
 - Semiflex typ 31010 ($10\times 10\text{cm}^2$, $30\times 30\text{cm}^2$),
 - microLion type 31018 ($3\times 3\text{cm}^2$, $10\times 10\text{cm}^2$),
 - P dioda typ 60016 i SRS dioda typ 60018 ($3\times 3\text{cm}^2$, $10\times 10\text{cm}^2$)
- normalizacja do dawki w maximum

Materiały i metody

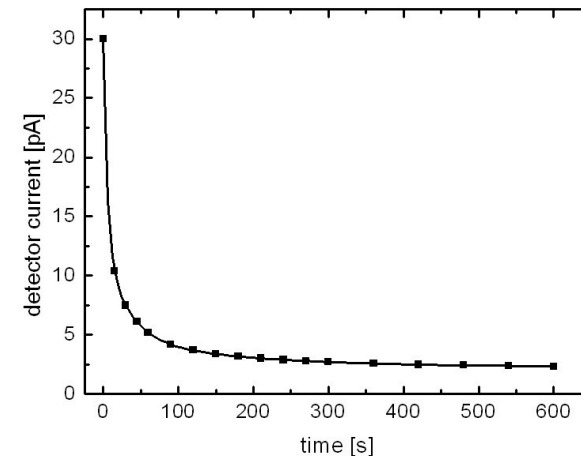


- **Procentowa dawka głęboka (PDD) i profile (d=10cm) ELEKTRONY**
- PDD i profile zmierzono dla dostępnych energii elektronowych SSD=100cm dla aplikatora 14x14cm², dodatkowo dla 6MeV i 20MeV dla aplikatorów 6x6cm², 20x20cm².
- dla porównania wykonano pomiary detektorem:
 - komora jonizacyjna MARKUS typ 23343
 - E dioda typ 60017,
- profile zmierzono analogicznymi detektorami na głębokościach $d=1/2 D_{90}$; $d=D_{90}$; $d=D_{70}$; $d=D_{50}$
- normalizacja do dawki w maximum

- **zależność odpowiedzi detektora od dawki zaabsorbowanej (prąd ciemny)** (porównanie z detektorem typu 60003)



Rys. 1.



Rys.2 .

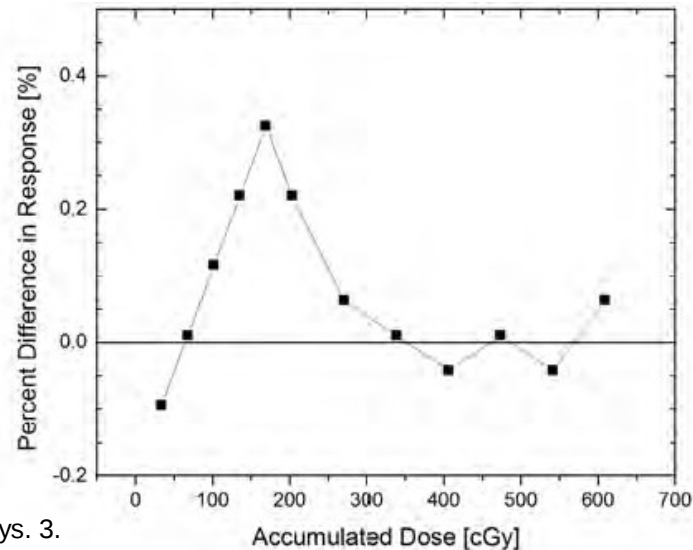
Rys.1. Odpowiedź detektora diamentowego „starego” typu 60003 w funkcji dawki zaabsorbowanej. Detektora nie używano przez 2 godziny. ((■) - wynik podczas etapów napromieniania; (-) najlepsze dopasowanie)

Rys. 2. Prąd ciemny detektora diamentowego „starego” typu 60003 po napromienianiu wiązką fotonów 6 MV w funkcji czasu.

Wyniki



- **zależność odpowiedzi detektora od dawki zaabsorbowanej (prąd ciemny)** (porównanie z detektorem typu 60003)



Rys. 3.

Rys. 3. Procentowa (%) różnica odpowiedzi detektora microDiamond typ 60019 od wartości średniej odpowiedzi detektora.

Po zaabsorbowaniu dawki 250 - 300cGy odpowiedź detektora jest stabilna w granicach 0,1%.

Wyniki



Odpowiedź detektora diamentowego

- (typ 60003) początkowo zmniejsza się znacząco (około 19%), wraz z wielkością dawki pochłoniętej
 - brak ustalonej polaryzacji w kryształach
 - dawka pochłonięta około 5 Gy (ustalona polaryzacja) - stały poziom odpowiedzi detektora około $4,1 \times 10^{-7}$ C/Gy .
 - efekt występuje przy rozpoczęciu każdego napromieniania (również) w przedziale zaledwie kilku godzin
 - napięcie (100V) powinno być stale podłączone do detektora również podczas napromieniania
 - bezpośrednio po napromieniowaniu, prąd ciemny wynosił około 30 pA (generowany wewnątrz kryształu)
 - po około 5 minutach, prąd ciemny stabilizuje się na poziomie około 2,5 pA (opróżnienie pułapek)

- detektor diamentowy typ 60003 należy wstępnie napromienić aż do osiągnięcia stabilnego prądu detektora.

Wyniki



Odpowiedź detektora diamentowego

microDiamond (typ 60019) jest różna
konstrukcja diody Schottky`ego
nie ma napięcia na detektorze podczas pomiarów

Odpowiedź detektora bez wstępnego napromienienia wynosi 0,5%

Po wstępnym napromienieniu dawką około 250cGy odpowiedź detektora była na stałym poziomie 0,1%

Nie zaobserwowano prądu ciemnego po napromienieniu

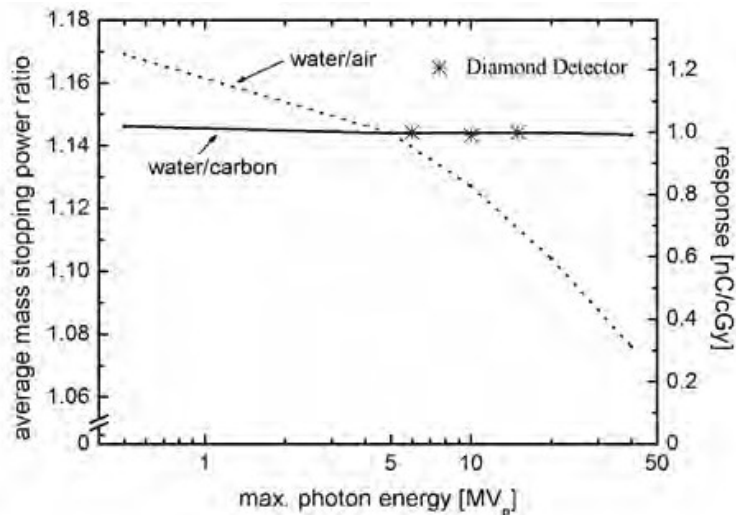
stabilność odpowiedzi detektora na poziomie 0,5% uzyskuje się po wstępnym napromienieniu około 60 cGy.

Sprzedawca rekomenduje wstępne napromienienie detektora dawką 800 cGy dla ustabilizowania sygnału

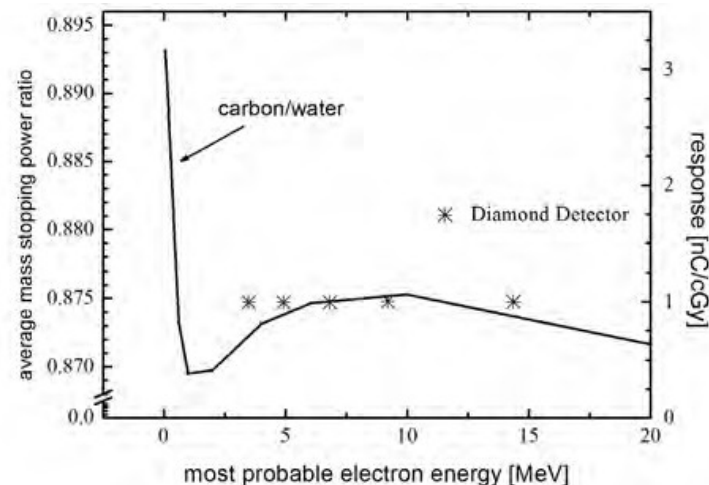
Wystarczy dawką około 300cGy, inne niż testowany egzemplarz mogą wymagać większej dawki

Wyniki

■ Zależność energetyczna - fotony



Rys. 4a.



Rys. 4b.

Odpowiedź detektora microDiamond typ 60019 dla różnych energii wiązek fotonowych (a) wiązek elektronowych (b).

Jako odniesienie przedstawiono średni mass stopping power ratio water/air (linia przerywana) water/carbon (linia ciągła)

Wyniki



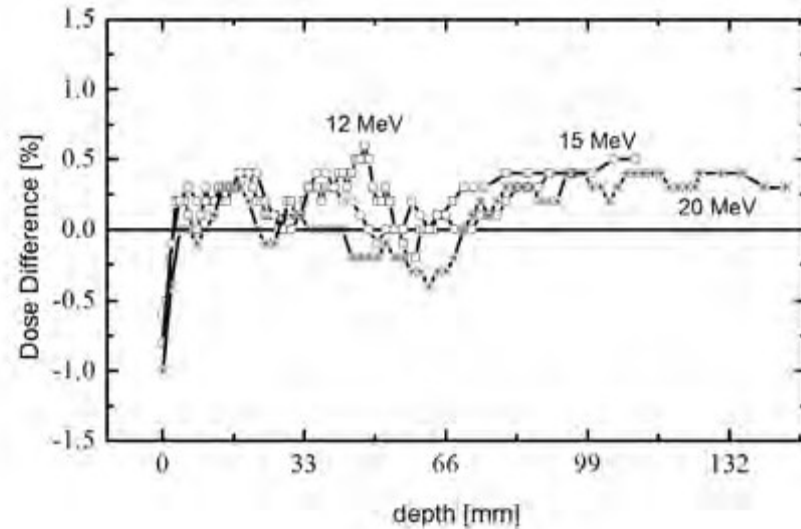
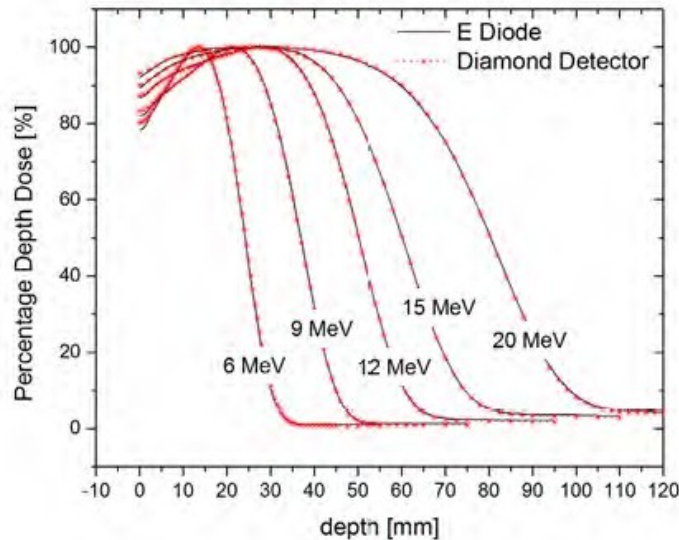
■ Zależność energetyczna – fotony

- odpowiedź detektora diamentowego określono dla wiązek fotonów o różnej energii. Odpowiedź detektora nie zmienia się znacząco (<1%) i mieści się w granicach niepewności pomiaru szacowanej na 2%;
- detektor microDiamond typ 60019 nie wykazuje zależności energetycznej w zakresie energii 6-15 MV (Rys. 4a).
- dobra tkankowa równoważność pozwala oczekiwać braku zależności energetycznej, obudowa może wprowadzić pewną zależność energetyczną.

■ Zależność energetyczna – elektrony

- odpowiedź detektora diamentu określono dla różnych energii. Odpowiedź nie zmienia znacząco (<1%) i mieści się w niepewności pomiaru.
- nie wykazuje zależności energetycznej w zakresie energii 6-20 MeV (Rys. 4 b).
- zależność energii jest mniejsza, jak mniejsza niż wynika ze stopping power ratio dla węgla i wody dla wiązek elektronów
- średnia odpowiedzi detektora do wiązek elektronów jest niższa niż 0,5% niż dla wiązek fotonów

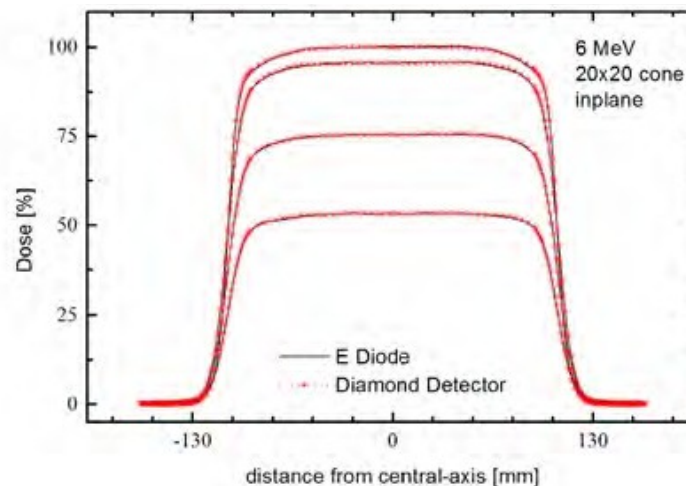
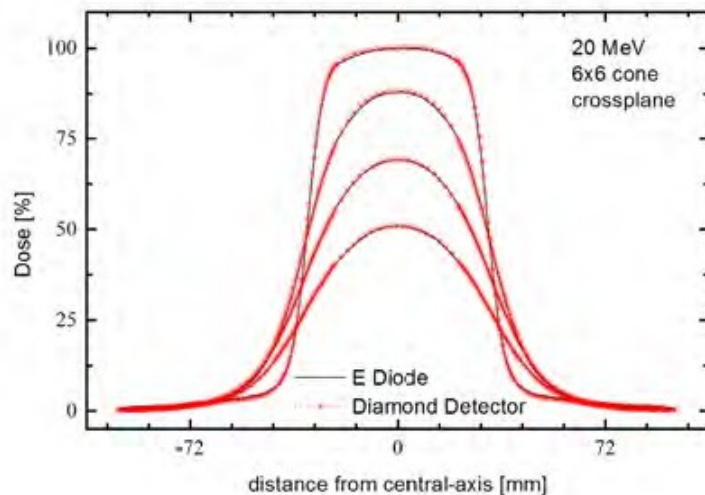
Wyniki PDD - elektrony



Porównanie PDD dla wiązek elektronów mierzonych E diodą i detektorem diamentowym, małe różnice w obszarze wysokiego gradientu dawki, różnica o około 0,5%, pomiędzy dwoma pomiarami jest widoczna w obszarze narastania dawki.

Wyniki

Profile - elektrony

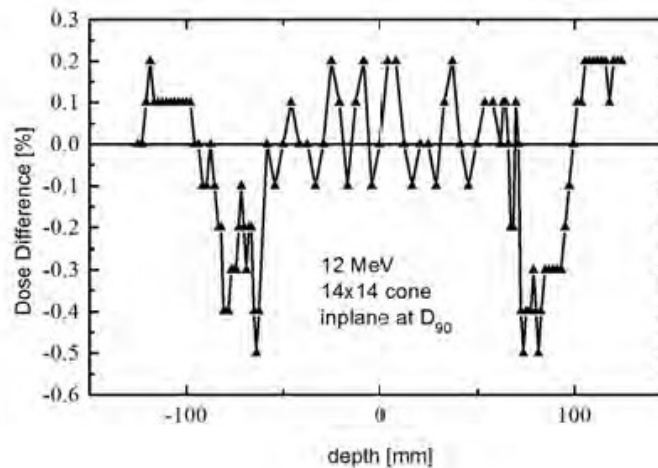
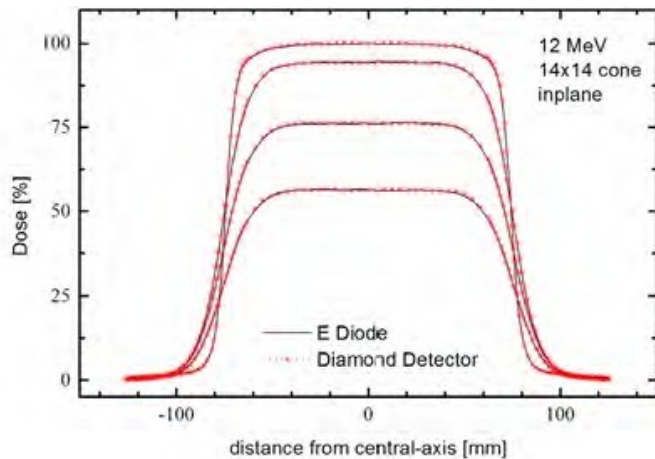


Pomiar profili wiązek elektronów 20MeV (a), 6MeV (b) i 12 MeV (c) dla aplikatora 6 x 6cm² 20 x 20cm², 14 x 14cm².

Pomiary E diodą i detektorem diamentowym są zgodne w płaszczyznach inplane i cressplane. Różnice dawki są rzędu 0,5% i mniej.

Różnica pomiarów profilu dla 12 MeV przedstawia rysunek (d).

Wyniki



Detektor diamentowy ma lepszą rozdzielczość przestrzenną niż komora Markus.

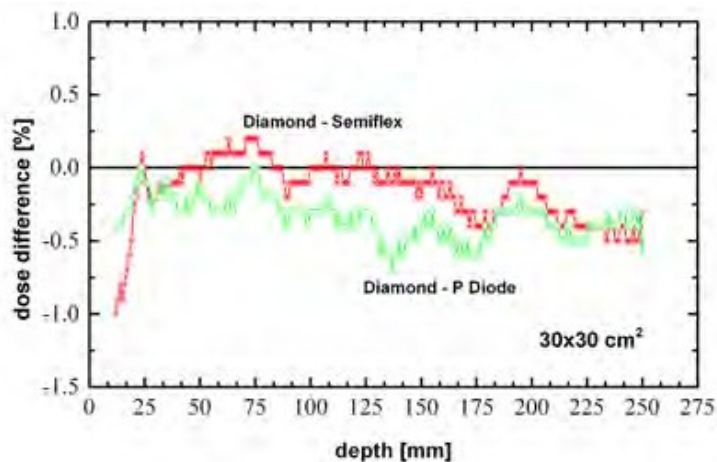
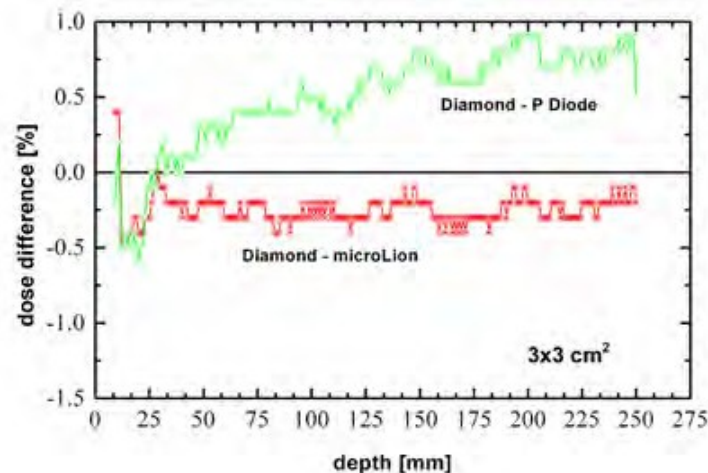
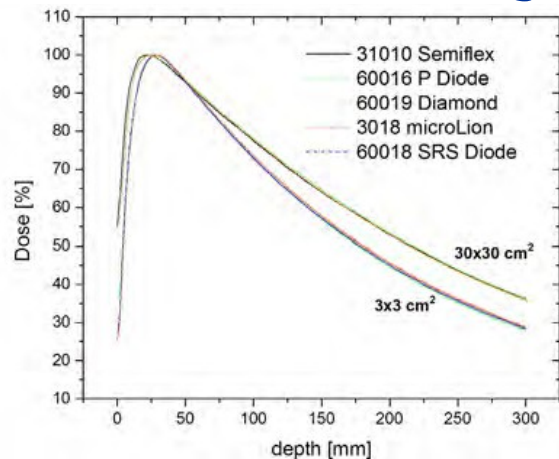
w obszarach gradientów wysokich dawek elektronowych krzywe głębokościowe dawek są różne, różnice pojawiają się w związku z innym uśrednianiem przestrzennym obu detektorów.

Wyniki



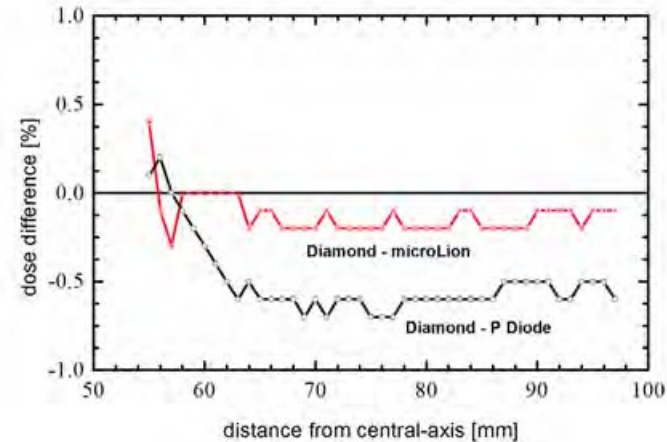
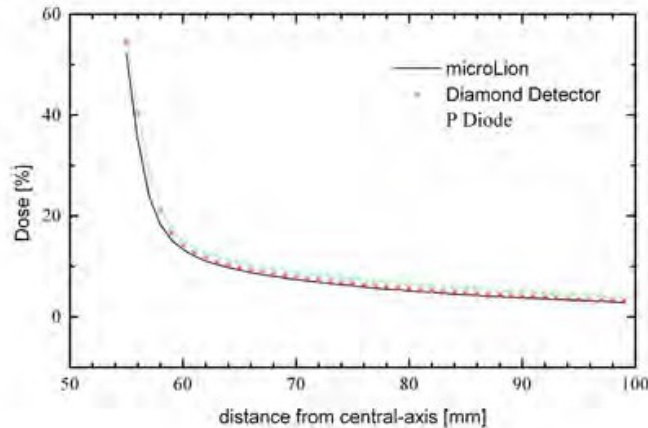
- E Dioda i detektor diamentowy nie wymagają korekty,
- mierzą bezpośrednio dawkę
- mają podobnie wysoką rozdzielczość przestrzenną
- profile i PDD mierzone diodą E i microDiamond mają dobrą zgodność nawet w obszarach wysokiego gradientu (różnice 1% i mniej)
- pomiar wartości dawki w obszarze narastania dawki (krzywa PDD) mierzona microDiamond jest około 0,5% mniejsze niż E diodą
- pomiar detektorem Markus zgadza się z pomiarem E diodą w tym obszarze

Wyniki PDD - fotony



Pomiary dla pól wielkości 3x3cm² i 30x30cm² dla różnych detektorów.
Różnica pomiędzy pomiarami microDiamond i Semiflex oraz między microDiamond i P Diode. (duże pole)
Różnica pomiędzy microDiamond i microLion pomiędzy microDiamond i P diodą. (małe pole)
W obu przypadkach różnica pomiędzy microDiamond i P dioda jest około dwukrotnie większa niż różnica pomiędzy detektorem microDiamond i komorą jonizacyjną.

Wyniki Profile - fotony



- Obszar niskich dawek dla pola w wymiarze 10 x 10 cm² (6 MV) na głębokości d=10 cm, zmierzono P diodą, detektorem microLion i detektorem microDiamond.
- P dioda mierzy więcej rozproszonych fotonów w obszarze niskich energii. Dobra zgodność wskazań wszystkich trzech detektorów w obszarze wysokiej dawki i obszarze półcienia profilu.

Wyniki



Na głębokościach większych niż d_{max} , krzywe głębokość dawki wiązek fotonów (6 MV, 10 MV i 15 MV) mierzonych za pomocą detektora microDiamond są zgodne z tymi zmierzonymi detektorem microLion dla małych pól ($3 \times 3 \text{ cm}^2$) i z tymi zmierzonymi komorą 0.125cc Semiflex dla dużych pól ($30 \times 30 \text{ cm}^2$).

Różnice są w zakresie 0,25% i poniżej.

- różnice pomiędzy detektorem microDiamond i pomiarów diodą P są większe, od 0,5% do 1,0% ,więc detektor microDiamond można uznać za odpowiedni pomiarów dla małych i dużych pól
- Dla pomiarów profili in- i cross-plane, pomiary detektorem microDiamond zgadzają się z pomiarami microLion i P diodą w obszarze wysokiej dawki profilu oraz w obszarze półcienia.
- w obszarze niskich dawek poza otwartym polem, pomiary P diodą są o 0,5% -1,0% wyższa niż microDiamond i microLion pomiarów, natomiast pomiary microDiamond i microLion zgadzają się ciągu 0,25%.

Wnioski



- microDiamond detektor typu 60019 jest przydatnym detektorem do pomiarów wiązek fotonowych o wysokich energiach i dozymetrii elektronów.
- napromienienie wstępne około 3 Gy wystarcza do ustabilizowania odpowiedzi detektora
- detektor microDiamond nie wykazuje zależności energetycznej fotonów o wysokiej energii i w dozymetrii wiązek elektronowych
- MicroDiamond ma lepszą rozdzielczość przestrzenną, odpowiedni do pomiarów małych i dużych pól fotonowych, PDD i profili oraz pomiarów PDD i profili wiązek elektronowych
- dozymetria związana z radioterapią stereotaktyczną i brachyterapią, szczególnie w niejednorodnych ośrodkach.
- detektor microDiamond nadaje się do szerokiego zakresu zastosowań w dozymetrii absolutnej (procedura kalibracji)
- detektor może łatwo zastąpić diody P i E i detektory microLion i stać się uniwersalnym detektorem dla QA i bieżących pomiarów akceleratorów liniowych

Literatura



1. Vatnitsky S and Järvinen H. Application of a natural diamond detector for the measurement of relative dose distributions in radiotherapy. *Phys Med Biol.* 1993;38(1):173–84.
2. Planskoy B. Evaluation of diamond radiation dosimeters. *Phys Med Biol.* 1980;25(3):519–32.
3. Khrunov VS, Martynov SS, Vatnitsky SM, et al. Diamond detectors in relative dosimetry of photon, electron and proton radiation fields. *Radiat Prot Dosim.* 1990;33(1/4):155–57.
4. Hoban PW, Heydarian M, Beckham WA, Beddoe AH. Dose rate dependence of a PTW diamond detector in the dosimetry of a 6 MV photon beam. *Phys Med Biol.* 1994;39(8):1219–29.
5. Konorova EA and Kozlov SF. Nuclear radiation detector made of diamond. *Sov Phys Semiconduct.* 1971;4(10):1600–05.
6. Kozlov SF, Stuck R, HageAli M, Siffert P. Preparation and characteristics of natural diamond nuclear radiation detectors. *IEEE Trans Nucl Sci.* 1975;22(1):160–70.
7. Fowler JF and Attix FH. Solid state integrating dosimeters. *Radiat Dosim.* 1966;2:241–90.
8. Kania DR, Landstrass MI, Plano MA. Diamond radiation detectors. *Diam Relat Mater.* 1993;2(5-7):1012–19.
9. Knoll GF. *Radiation detection and measurement*, 2nd ed. New York: John Wiley & Sons; 1989.

Literatura



10. Kozlov SF, Konorova EA, Kuznetsov YA, et al. Diamond dosimeter for X-ray and gamma radiation. IEEE Trans Nucl Sci. 1977;24(1):235–37.
11. Burgemeister EA. Dosimetry with a diamond operating as a resistor. Phys Med Biol. 1981;26(2):269–75.
12. Champion FC. Some physical properties of diamonds. Adv Phys. 1956;5(20):383–411.
13. Laub WU, Kaulich TW, Nüsslin F. Energy and dose rate dependence of a diamond detector in the dosimetry of 4 25 MV photon beams. Med Phys. 1997;24(4):535–36.
14. Ciancaglion I, Marinelli M, Milani E, et al. Dosimetric characterization of a synthetic single crystal diamond detector in clinical radiation therapy small photon beams. Med Phys. 2012;39(7):4493–501.
15. Di Venanzio C, Marinelli M, Milani E, et al. Characterization of a synthetic single crystal diamond Schottky diode for radiotherapy electron beam dosimetry. Med Phys. 2013;40(2):021712.
16. ICRU. Stopping powers for electrons and positrons. ICRU Report 37. Washington, DC: ICRU; 1984.

■ Dziękuję za uwagę