

Wykorzystanie emiterów polowych z nanorurek węglowych (CNT) w miniaturyzacji lamp rentgenowskich

Biała Księga | Mobilny aparat rentgenowski DRX-Revolution Nano
| Ultralekki mobilny aparat RTG do obrazowania medycznego

Martin Pesce, Xiaohui Wang, Peter Rowland

Carestream Health, Inc.

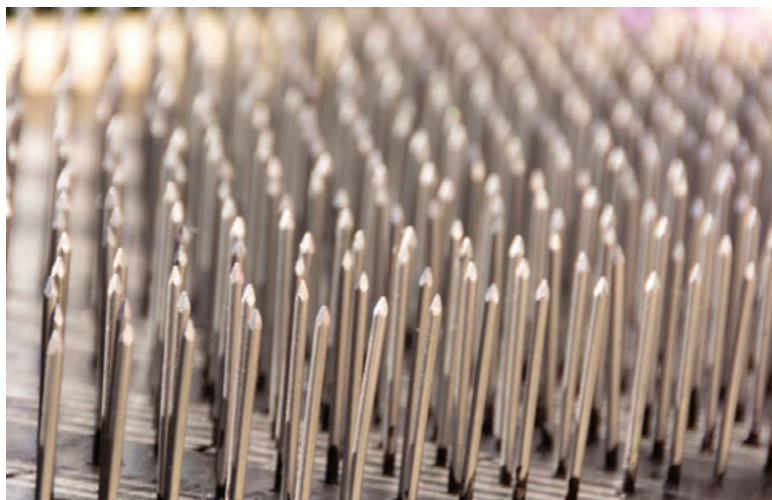
Promieniowanie rentgenowskie (promienie X) jest wytwarzane pod wpływem uderzeń wiązki przyspieszonych elektronów w anodę, np. wolframową, umieszczoną w lampie próżniowej. Lampy rentgenowskie używają jako źródła elektronów żarzone włókna katody, począwszy od wynalezienia lampy przez W. Roentgena w 1895 roku.

Tradycyjne lampy RTG to lampy elektronowe z żarzoną katodą. Lampy te używają jednego lub większej liczby włókien bezpośrednio żarzonych. Katoda taka przypomina żarnik tradycyjnej żarówki i jest najczęściej wykonana z wolframu. W celu wytworzenia przepływu elektronów w lampie, włókno katody jest podgrzewane do temperatury przekraczającej 1000°C, wówczas uwalniane są elektrony potrzebne do wytworzenia promieniowania RTG (X) w procesie emisji termoelektronowej. To „wygotowywanie” elektronów z katody jest bardzo mało wydajne, ponieważ większość energii jest marnowana na ogrzewanie włókien katody. Powtarzanie cyklu ogrzewania i schładzania katody w kolejnych sesjach ekspozycji nie jest wymagane w przypadku zastosowania emitera polowego z nanorurek węglowych (*Carbon Nano-Tube, CNT*), który jest wzbudzany polem elektrycznym, a nie temperaturą – i dlatego zwanym „zimną katodą”. Lampy elektronowe z termokatodą są również stosunkowo trudne do kontrolowania, ponieważ prąd przepływający przez lampę można zmienić tylko zmianą temperatury emitera. W emiterze wykonanym z nanorurek węglowych CNT prąd lampy jest regulowany precyzyjnie i momentalnie doprowadzonym napięciem.

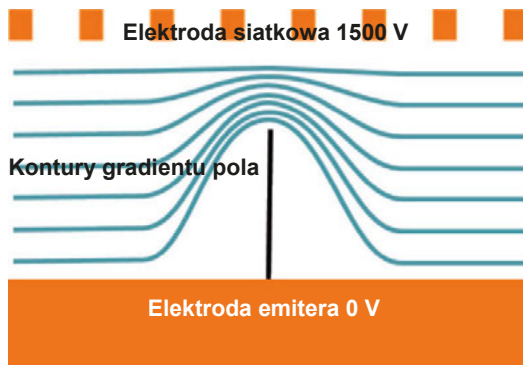
Konfiguracja emitera polowego z nanorurek węglowych CNT różni się znacznie

od budowy termoelektronowej lampy RTG z bezpośrednio żarzoną katodą. Emiter nanorurkowy zastosowany w lampie RTG składa się z wielu wysokich, cienkich nanorurek węglowych umieszczonych pionowo na podłożu przewodzącym prąd. Średnica tych rurek liczona jest w nanometrach, co oznacza, że ich wierzchołki są bardzo „ostre”, a mały promień krzywizny wierzchołka pozwala na koncentrację pola elektrycznego, dzięki czemu dochodzi do emisji elektronów. Układ nanorurek można porównać do nabitego gwoździami „łoża fakira” (Rys. 1).

Struktura elektrody siatkowej połączona z elektrodą w ścianie lampy znajduje się w niewielkiej odległości od ostrych wierzchołków nanorurek. Po włączeniu cyklu ekspozycji przez technika przyciskiem dwupołożeniowym najpierw w czasie przygotowania ekspozycji pomiędzy siatką i podłożem powstaje gradient napięcia wytwarzający bardzo silne pole elektryczne na wierzchołkach nanorurek.



Rys. 1 Układ nanorurek węglowych w emiterze



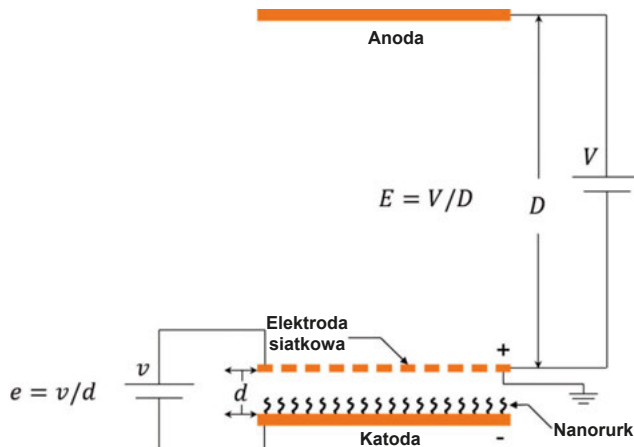
Rys. 2 Natężenie pola elektrycznego skupia się na ostrych wierzchołkach nanorurek

Natężenie pola elektrycznego skupione na wierzchołkach nanorurek wymusza emisję polową naładowanych ujemnie elektronów z wierzchołków (Rys. 2). To zjawisko skupienia ładunku przypomina zasadę działania pręta odgromowego. Ponieważ nie jest wymagane „wygotowywanie” elektronów wysoką temperaturą, katoda pozostaje zimna, co oznacza oszczędność energii (szczególnie ważną w aparatach RTG zasilanych akumulatorowo).

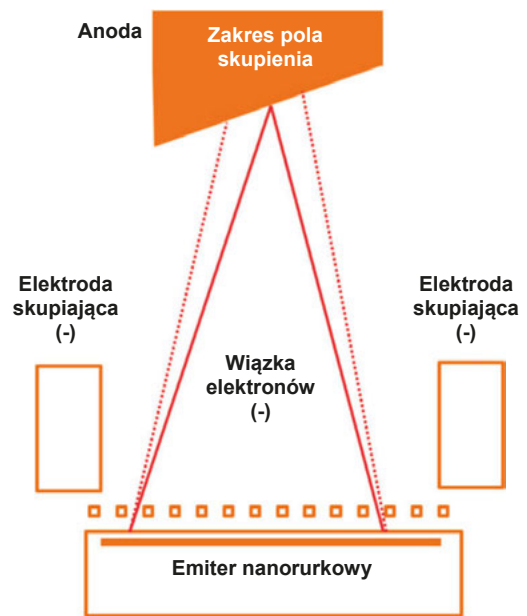
Inaczej niż w lampie tradycyjnej, w której elektrony emitowane są we wszystkich kierunkach, elektrony emitowane z nanorurek są przyciągane przez dodatnio naładowaną elektrodę siatkową. Po włączeniu cyklu ekspozycji przez technika elektrony są emitowane z wierzchołków nanorurek i przepływają w kierunku siatki. Większość elektronów przepływa przez siatkę, a następnie cząstki te są przyspieszane wysokim napięciem, uderzają w anodę i wytwarzają promieniowanie RTG (X) (Rys. 3).

Natężenie prądu docierającego do anody można regulować bardzo precyzyjnie wartością napięcia występującego pomiędzy katodą i elektrodą siatkową.

Dodatkowo w temperaturze pokojowej oferowana przez firmę Carestream Health lampa RTG z zimną katodą z nanorurek



Rys. 3 Zimna katoda wykorzystująca emiter z nanorurek węglowych zastąpiła katodę bezpośrednio żarzoną, stosowaną tradycyjnie w termoelektronowych lampach RTG. Po doprowadzeniu do obwodu napięcia (V) elektrony skupiają się na wierzchołkach nanorurek, wypływają z niej, są przyciągane przez elektrodę siatkową, następnie są przyspieszane, a ostatecznie bombardują anodę, wytwarzając fotony promieniowania rentgenowskiego.



Rys. 4 Elektroda skupiająca ogniskuje wiązkę elektronów, wytwarzając zmienne ognisko lampy

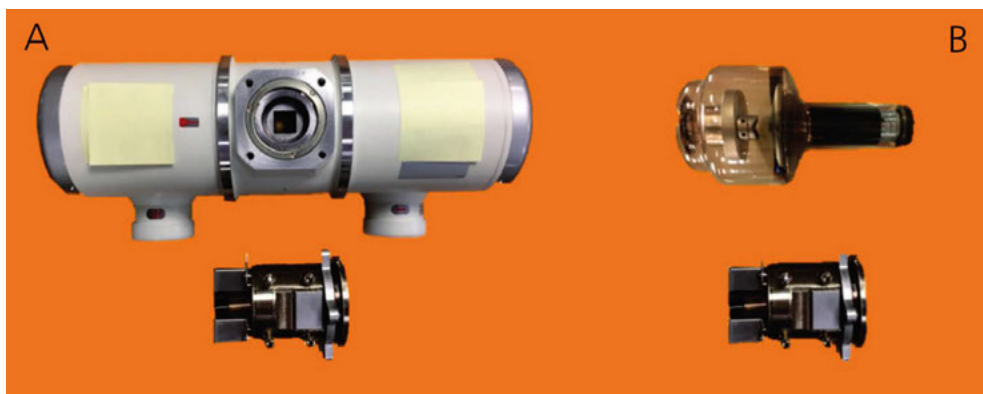
węglowych zawiera również elektrooptyczną soczewkę (elektrodę kołnierzową) umożliwiającą dynamiczną regulację wielkości ogniska lampy.

Elektrony przepływają przez tę soczewkę przed trafieniem w anodę, kierunek przepływu, a więc skupienie wiązki można regulować, zmieniając napięcie soczewki. To połączenie emitera nanorurkowego z elektrodą skupiającą pozwala na jednoczesne, dynamiczne i płynne regulowanie natężenia przepływu elektronów i wielkości ogniska lampy (Rys. 4).

Ta regulacja pola skupienia jest bardzo korzystna dla kontroli obciążenia cieplnego anody stałej. System sterowania lampą zamontowany w wózku aparatu RTG automatycznie dostosowuje pole skupienia do każdego impulsu promieniowania RTG w celu zoptymalizowania jakości obrazu w zależności od obciążenia cieplnego od parametrów ekspozycji wybranych przez operatora do badania.

Dzięki wyeliminowaniu tradycyjnej termoelektronowej żarzonej, katody, obrotowej anody i silnika, lampa RTG z emiterni polowym z nanorurek węglowych zapewnia unikatowe korzyści w obrazowaniu mobilnym w porównaniu z lampami tradycyjnymi. Największe zalety to rozmiar i waga. Lampa z emiterni nanorurkowym waży ok. 1 kg, natomiast tradycyjna ok. 2 kg. Jednak lampa tradycyjna jest umieszczana w obudowie kotpaka napelnianej olejem. Lampa tradycyjna z obudową i olejem może ważyć nawet 17 kg. Jeśli do tego doliczyć wagę kolimatora i ołowiane ekranowanie, to okaże się, że cały zespół z lampą tradycyjną jest cztery razy cięższy od zespołu z lampą nanorurkową (Rys. 5).

Dzięki zminiaturyzowaniu zespołu lampy wystąpił efekt domina, który przyczynił się do zmian całego rozwiązania konstrukcji aparatów przewoźnych.



Rys. 5 (A) Wagi komponentów w aparacie z lampą elektronową z termokatodą, (B) Wagi komponentów w aparacie z lampą nanorurkową

Głowica lampy i kolimator są znacznie mniejsze i lżejsze, co oznacza, że również ramię i kolumna lampy mogą zostać zredukowane, jeśli chodzi o wymiary i wagę (Rys. 6).

Choć lampa z emitorem nanorurkowym CNT pojawiła się stosunkowo niedawno w obrazowaniu medycznym, to jednak przyczyniła się do znacznego postępu w konstruowaniu aparatów RTG. Emiter nanorurkowy nie musi oczekiwać na rozgrzanie się katody ani na rozpędzenie się anody obrotowej, a więc pozostaje zawsze w stanie bliskim gotowości do ekspozycji. Na koniec ta nowa lampa jest wydajniejsza energetycznie od tradycyjnej, co zmniejsza zapotrzebowanie na korzystanie z dużych i ciężkich generatorów W.N i akumulatorów w aparatach mobilnych. Pomaga to również znacząco zmniejszyć rozmiar i wagę aparatów przytóżkowych.



Rys. 6 (A) Głowica lampy i kolimator w aparacie DRX-Revolution – ok. 56 cm szerokości i 75 kg wagi. (B) Głowica lampy i kolimator w aparacie DRX-Revolution Nano – ok. 32 cm szerokości i 7 kg wagi