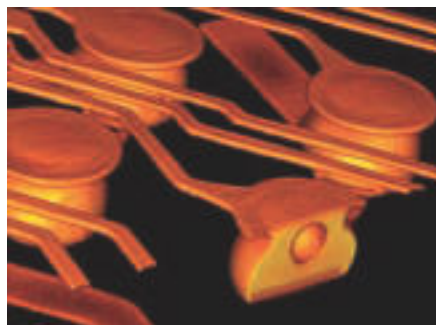


# Tomografia komputerowa w elektronice

**T**rójwymiarowa mikroskopia rentgenowska wysokiej rozdzielczości pozwala na wizualizację i analizę nieniszczącą wewnętrznej mikrostruktury próbek materiałowych lub mikroelementów, nawet o skomplikowanej strukturze trójwymiarowej, gdzie za pomocą zwykłej dwuwymiarowej mikroskopii rentgenowskiej uzyskuje się zwykle niejasne informacje. Od niedawna dostępne jest na rynku urządzenie rentgenowskie Nanotom firmy Phoenix. Jest to kompaktowy system laboratoryjny do analizy małych próbek, charakteryzujący się wyjątkową rozdzielczością poniżej 500nm. Jest on pierwszym na świecie systemem tomografii komputerowej (CT), oferującym analizę wysokiej rozdzielczości dla mikromechaniki, elektroniki i badań materiałowych wykonanym w technologii nanofocus (moc lampy 180 kV). Nadaje się szczególnie do badań CT czujników, siłowników, mikroelementów elektronicznych oraz próbek materiałów syntetycznych, ceramiki i kompozytów. Pozwala na wizualizację wszelkich wewnętrznych różnic w gęstości i porowatości próbki oraz pomiar odległości i objętości porów. Daje nowe możliwości poruszania się w całej strukturze badanej próbki i rozbieranie jej „kawałek po kawałku” w sposób nieniszczący. Dotychczas takie możliwości analizy były nieosiągalne.

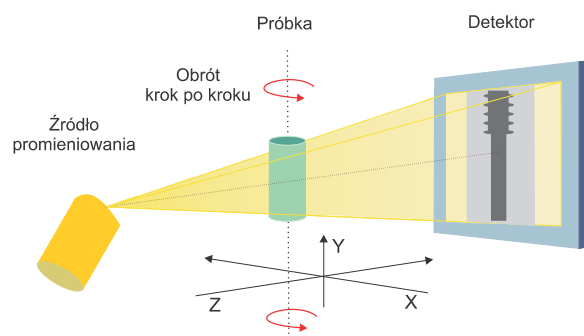
Tomografia wysokorozdzielcza rozszerza spektrum badań nieniszczących w dziedzinie mikrostruktur, a Nanotom



**Rys. 1.** Przykładowa analiza błędów. Tomografia komputerowa połączeń wewnątrz układu CSP pozwala analizować pakietowo strukturę lutowania

otwiera niewątpliwie nowe możliwości mikroanalizy nieniszczącej 3D próbek i z całą pewnością wyprze metody analizy polegające na niszczeniu próbek – dzięki temu zostaną zaoszczędzone koszty i czas, który do tej pory trzeba było poświęcić na inspekcję poszczególnych próbek.

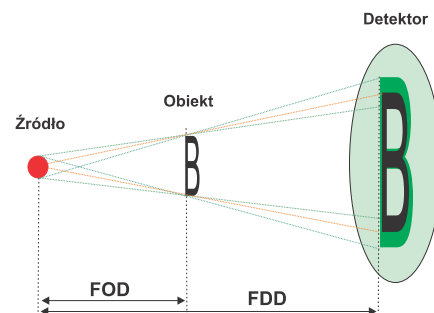
Przez wiele lat jedynym sposobem na określenie wewnętrznej struktury próbki w zakresie rozdzielczości submikronowej była analiza niszcząca, polegająca na cięciu badanej próbki na obszary. Ta technika była nie tylko czasochłonna, ale również wiązała się z utratą próbki. Dzięki zaawansowanej technologii rentgenowskiej, analiza niszcząca odchodzi w zapomnienie. Na polu elektroniki, mikrome-



**Rys. 2.** Schemat tworzenia tomografii komputerowej (CT).

Aby dokonać pełnej rekonstrukcji, próbka musi znajdować się w polu widzenia, tak by podczas pełnego obrotu o 360° wiązka prześwietlała cały element

chaniki i inżynierii materiałowej, nanotomografia komputerowa pozwala badaczom na eksplorowanie całej struktury próbki na poziomie submikronowym. Wdrożenie tej technologii wiązało się z pokonaniem dwóch głównych przeszkód. Pierwszą była konieczność wykorzystania komputerów zdolnych do przetwarzania dużych ilości danych w możliwie krótkim czasie. Do niedawna ich ceny były zaporowe. Drugą, ważniejszą przeszkodą była potrzeba zastosowania systemu rentgenowskiego wysokiej rozdzielczości z lampą o submikronowej wielkości ogniskowej i na tyle dużej mocy, aby umożliwiła wnikanie w gęste próbki i zwracanie obrazu w bardzo wysokiej rozdzielczości. Nowe urządzenie Phoenixa X-ray Nanotom łączy w sobie moc połączonych w klastry



**Rys. 3.** Im mniejszy rozmiar ogniskowej, tym większa ostrość. Wielkość plamki ogniskowej poniżej 1µm pozwala na przetwarzanie obrazu o rozmiarach od 200 do 300nm

serwerów z potężną lampą typu nanofocus i wysokorozdzielczym detektorem. Przykładowy schemat tomografii nano jest pokazany na rys. 2. Na próbce widać niektóre połączenia CSP, o średnicy około 400µm.

## Tomografia

Tomografia nano jest rozwinięciem konwencjonalnej dwuwymiarowej inspekcji rentgenowskiej. Próbka jest ustawiana pomiędzy źródłem promieniowania i detektorem, po czym jest obracana o 360° aby oświetlić cały element. Lampa rentgenowska nanofocus o mocy 15W i na-

pięciu pracy 180kV generuje stożkową wiązkę promieni rentgenowskich, która pozwala na przeniesienie obrazu próbki na cyfrowy detektor o aktywnym obszarze 120×120mm (2300×2300 pikseli). W rezultacie otrzymamy obraz, w którym piksel ma rozmiar fizyczny 50µm podzielony przez powiększenie geometryczne będące stosunkiem odległości źródło-detektor i odległości badanego obiektu od źródła promieniowania, co daje minimalny wymiar 0,5µm. Wielkość próbki jest tu istotnym czynnikiem. Największe powiększenie może być uzyskane dla najmniejszych próbek. Ostrość (rzeczywista rozdzielczość obrazu) jest ustalana przez wielkość ogniskowej lampy rentgenowskiej (patrz rys. 3). W przypadku większego rozmiaru plamki ogniskowej od



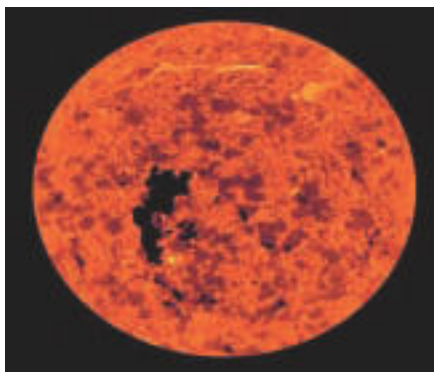
**Rys. 4.** Niewielki rozmiar urządzenia (160x74cm) czyni go idealnym do zastosowań laboratoryjnych



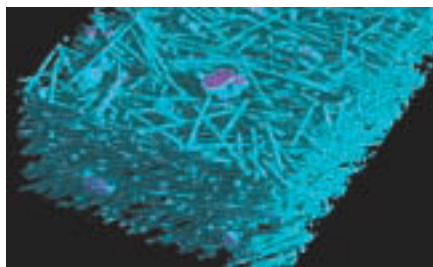
**Rys. 5.** Struktura układu SMD, układ BGA, gdzie na kulce po lewej stronie wyraźnie widać efekt „głowy w poduszce”, ceramiczny chip SMD z wewnętrzną cewką

rozmiaru piksela, otrzymamy efekt półcienia, a co za tym idzie ograniczenie jakości obrazu.

Zmniejszenie wielkości promienia rentgenowskiego pozwala na redukcję tego efektu i w rezultacie otrzymanie ostrzejszego obrazu na detektorze. Zależna od rozmiaru ogniskowej lampa rentgenowska



**Rys. 6.** Wizualizacja 2mm plastra z widoczną porowatością (ciemny obszar) i obszarami metalicznymi o wysokiej gęstości (jasne obszary)



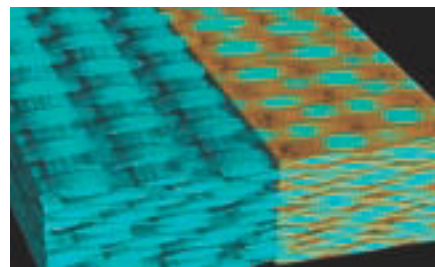
**Rys. 7.** Tomografia włókna szklanego wzmocnionego tworzywem sztucznym. Widoczna jest orientacja cienkich włókien, oraz również wypełnienia nagromadzone z materiałów mineralnych (fiolet)

nanofocus, systemu Nanotom może przetwarzać obraz funkcji w najmniejszych rozmiarach 200–300nm.

Obsługa i przygotowanie do wykonania CT jest proste. Obiekt ustawia się na specjalnym obrotowym uchwycie pomiędzy lampą rentgenowską i detektorem. Tworzenie obrazu zaczyna się od wykonania serii zdjęć dwuwymiarowych. Seria zdjęć jest wykonywana podczas obrotu próbki o 360° w polu widzenia o kątowych przyrostach 0,25...0,5° co jeden skok. Zdjęcia te zawierają informacje o pozycji i gęstości obiektu. Zgromadzone dane są następnie wykorzystywane do numerycznej rekonstrukcji objętościowej za pomocą algorytmu odfiltrowującego tylną projekcję. Czas rekonstrukcji obrazu zależy od wielkości próbki. Rekonstrukcja odbywa się równolegle do gromadzenia danych, tak więc wynik jest dostępny zaraz po zakończeniu procesu. Rezultatem jest wizualizacja 3D badanego obiektu. Możliwe jest też „krojenie” segmentowe obrazu i podgląd w każdym kierunku.

### Nanotom

W 2006 roku firma Phoenix wystarała z projektem Nanotom, precyzyjnym systemem tomografii komputerowej o wysokiej rozdzielczości (rys. 4). Jest to urządzenie specjalnie zaprojektowane do pracy z aplikacjami laboratoryjnymi, potrafi skanować próbki o wielkości do 1kg i o średnicy 120mm. Maksymalny rozmiar rozdzielczości może wynosić 500nm. W urządzeniu została zastosowana pierwsza tego typu lampa o mocy 180kV do tomografii komputerowej w technologii nanofocus, dzięki której z łatwością może przenikać próbki o wysokiej absorpcji, takie jak miedź lub stopy stali. Rozwiązanie to zapewnia najwyższą rozdzielczość podczas badań w różnych dziedzinach nauki, takich jak materiałoznawstwo, mikromechani-



**Rys. 8.** Tomografia kompozytów włókna szklanego. Widoczne jest włókno z maty (kolor niebieski) i materiał żywiczny (kolor pomarańczowy)

ka, elektronika, geologia, biologia i wielu innych. Szczególnie odpowiedni jest do badań nanotomograficznych w dziedzinie mikroelektroniki – elementy, czujniki, złożona mechatronika, jak również takich próbek jak syntetyczne materiały, ceramika, spawy, materiały kompozytowe oraz mineralne i organiczne próbki.

5-megapikselowy płaskoekranowy detektor o rozmiarze piksela 50µm oraz trójpozycyjny wirtualny detektor daje szerokie możliwości eksperymentowania. Aby zredukować wszystkie negatywne czynniki, takie jak vibracje lub temperatura, lampa, detektor i manipulator są osadzone na specjalnym granitowym bloku. Specjalna konstrukcja drzwiczek, jak również zaawansowana konstrukcja osprzętu, pozwala na precyzyjne a zarazem proste pozycjonowanie próbek.

### Przykładowe aplikacje

Na rys. 5–8 przedstawiono niektóre z możliwych zastosowań Nanotomu. Jak widać, wizualizowane są wszystkie wewnętrzne szczegóły odpowiadające gęstości lub porowatości, a odległości wewnętrzne mogą być zmierzone. Istnieje możliwość wykonywania zdjęć w różnych fazach procesu lutowania. Można oglądać krystaliczne struktury odróżniające się od struktur składających się z metali. Składniki próbek mogą być indywidualnie wizualizowane za pomocą tłumienia kontrastu, tak aby wyróżnić interesujący nas materiał. W ten sposób zazwyczaj ukryte pod porami odlewy z metali lekkich lub kamienne próbki mogą być również analizowane. Dzięki technikom inspekcji niszczącej, być może w niedalekiej przyszłości będzie możliwe wyparcie metod niszczących, a tym samym obniżenie kosztów i skrócenie czasu poświęconego na przeprowadzanie żmudnej kontroli.

*Daniel Trzciński, PB Technik*