

Wykorzystanie obrabiarek laserowych w produkcji cienkowarstwowych paneli fotowoltaicznych

Najważniejszym parametrem podczas produkcji cienkowarstwowych ogniw fotowoltaicznych, jest koszt uzyskiwanego z nich wata mocy maksymalnej (dol. za W_{peak}). Producenci starają się obniżyć ten współczynnik za pomocą zoptymalizowanych kosztowo procesów technologicznych, krótszych czasów wytwarzania paneli oraz poprzez zwiększanie efektywności energetycznej modułów fotowoltaicznych. Ten ostatni parametr zależy w największym stopniu od właściwości najstabszej celi w całym ogniwie, stąd też bierze się duże zapotrzebowanie na precyzyjnie działające maszyny, zapewniające powtarzalność i dokładność procesu technologicznego.

Cienkowarstwowe panele fotowoltaiczne bazują na materiałach półprzewodnikowych takich, jak tellurek kadmu (CdTe), selenek galowo-indowo-miedzi (CIGS) oraz amorficznym i mikromorficznym krzemie. Ostatnio udział w rynku technologii cienkowarstwowych napędzają coraz bardziej ogniwa na polikrystalicznym krzemie, które pojawiły się w 2005 roku i stały się szybko doskonałą alternatywą do produktów bazujących na monokrystalicznych płytkach półprzewodnikowych. Prognozy EPIA mówią, że w 2013 roku produkty cienkowarstwowe zajmą 25% rynku, co jest równoważne ich mocy zainstalowanej z ich wykorzystaniem na poziomie 9 GW.

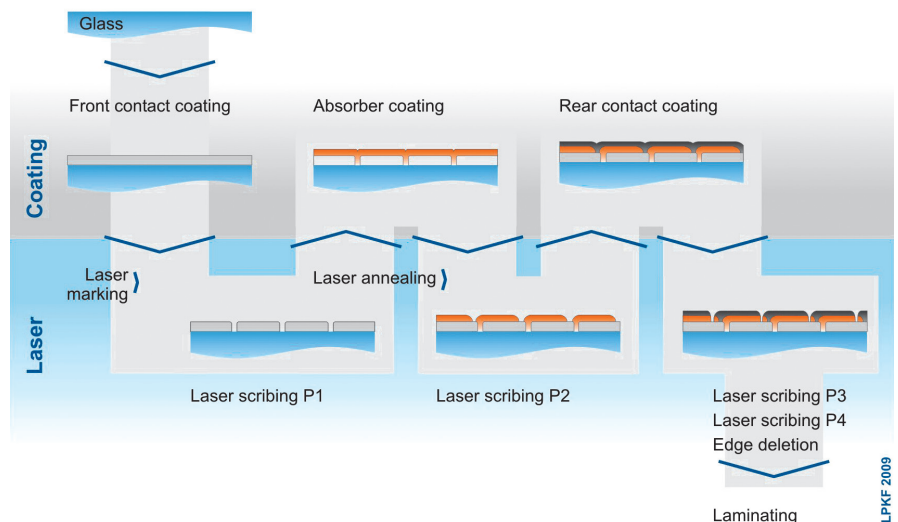
Panele cienkowarstwowe mają wiele zalet w porównaniu z wersjami na podłożach krystalicznych, zarówno, jeśli chodzi o produkcję, jak i możliwość skutecznej generacji energii elektrycznej. Producenci korzystają w tym zakresie z doświadczeń i technologii wypracowanych przez przemysł wyświetlaczy LCD-TFT. Cieńsze warstwy takiego ogniwa dają ogromne oszczędności w kosztach materiałów, dlatego pomimo niższej sprawności przetwarzania

są one w stanie wygenerować więcej energii elektrycznej za te same pieniądze. Ważna jest też lepsza wydajność produktów cienkowarstwowych w gorszych warunkach oświetleniowych i przy niższych temperaturach otoczenia.

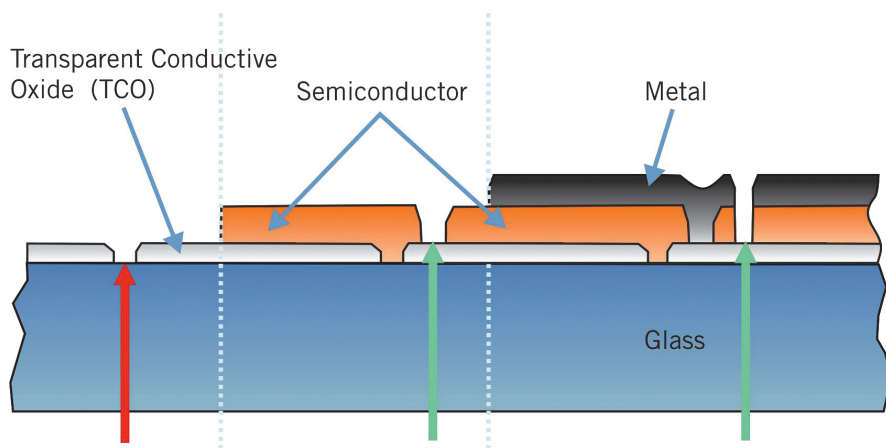
Celem dla producentów jest zejście z kosztami poniżej 1 dolara za W_p , poprzez obniżkę kosztów produkcji, wzrost sprawności i lepsze dostosowanie para-

metrów do potrzeb sieci smart grid tak, aby energia generowana ze słońca była w takiej samej cenie jak dostępna z innych źródeł. Dla technologii produkcji oznacza to wzrost zapotrzebowania na urządzenia o większej dokładności obróbki po to, aby zmaksymalizować dostępną efektywną powierzchnię ogniwa. Potrzebne są też maszyny pozwalające na uniknięcie naprężeń mechanicznych

Process Chain for Thin-Film Solar Cells



Rys. 1. Operacje technologiczne w produkcji paneli fotowoltaicznych



Rys. 2. Realizacja połączeń i wydzielania celi

powstających na podłożu szklanym, by parametry ogniwa były zachowane w ekstremalnych warunkach pogodowych i środowiskowych ciągu więcej niż 20 lat eksploatacji. Celów tych nie da się osiągnąć bez wykorzystania obrabiarek laserowych w produkcji. Oczywiście są one wykorzystywane w produkcji ogniw od dawna, jednak cały czas pojawiają się kolejne nowości technologiczne, czego przykładem jest laserowe usuwanie krawędzi, szybko zyskujące na znaczeniu.

Proces produkcyjny ogniw cienkowarstwowych

Na rysunku 1 pokazany został schemat typowego ciągu technologicznego produkcji ogniw cienkowarstwowych. Jak widać wiele z operacji wykonywanych jest techniką laserową:

- znakowanie podłoża kodem paskowym lub oznaczeniem alfanumerycznym poprzez ablację podłoża szklanego, TCO lub powłoki molibdenowej,
- trasowanie powłoki molibdenowej lub TCO oraz wykonywanie kontaktów elektrycznych (P1),
- trasowanie połączeń elektrycznych między sąsiednimi celami ogniwa poprzez selektywną ablację absorbera bez uszkodzania TCO lub powłoki molibdenu (P2),
- trasowanie kanału izolacyjnego wokół aktywnej celi ogniwa (P4),
- usuwanie krawędzi wzdłuż zewnętrznej krawędzi aktywnej celi ogniwa.

Trasowanie i usuwanie krawędzi opierają się na odparowywaniu i sublimacji cienkich warstw materiałów przy użyciu impulsów laserowych o czasie trwania poniżej 100 ns. Długości fali laserowej lub typ źródła promieniowania dostosowuje się do procesu ablacji tak, aby uniknąć uszkodzenia szklanego podłoża. Produkcja obecnie korzysta z fal

o długościach 532 nm i 1064 nm, które okazały się być najlepiej dostosowane do charakterystyki absorpcji szkła i nakładanych powłok.

Trasowanie laserem

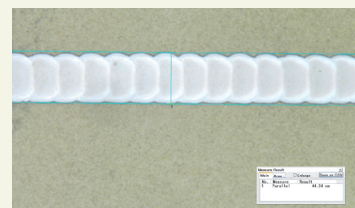
W technologii cienkowarstwowej, każda warstwa, czyli m.in. kontakty elektryczne lub absorber są podzielone na wydzielone obszary (cele), które są tworzone (trasowane) na poszczególnych etapach produkcji za pomocą lasera. Nakładanie kolejnych warstw i ich trasowanie tworzy elementy ogniwa i ich połączenia w gotowy moduł fotowoltaiczny, tak jak pokazane to zostało na rysunku 2. Obróbka laserowa pozwala uniknąć wysokich krawędzi na warstwach i ścieżkach, co jest istotne z uwagi na to, że dla bardzo cienkich warstw półprzewodników, wysoka krawędź może spowodować zwarcie między kontaktami. To samo dotyczy braku uszkodzeń w podłożu szklanym podczas wydzielania cel w ogniwie. Stos warstw składający się na warstwę aktywną i kontakt górny musi być usunięty bez żadnych pozostałości i naruszenia warstwy TCO stanowiącej kontakt dolny. Inaczej rośnie rezystancja wewnętrzna ogniwa i jego sprawność.

W przypadku paneli z CdTe lub amorficznego krzemu, ważne jest, że kontakt dolny z TCO jest przezroczysty dla zielonego promieniowania lasera. Impuls światła przechodzi przez szybę podłożową i warstwę kontaktową TCO i jest wchłaniany w warstwie półprzewodnika. Powstająca w wyniku oddziaływania promieniowania plazma może uszkadzać (unosić) pozostałe warstwy, ale przy dokładnej regulacji mocy zjawisko to daje się opanować. Dzięki temu produkcja tych paneli jest szybsza, bo

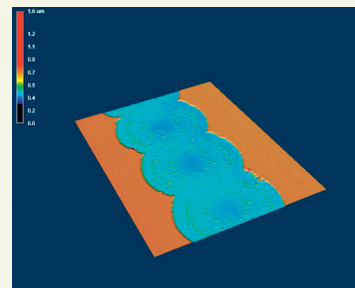
Złota myśl

Proces technologiczny

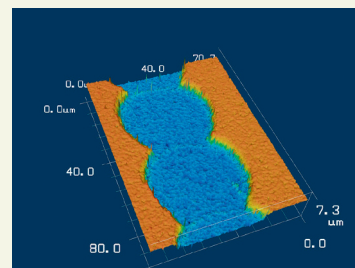
Na poniższych zdjęciach zaprezentowano przegląd operacji P1-P3 związanych z trasowaniem laserowym.



TCO (P1) – ścieżka wypalona laserem bez wysokich krawędzi



Ścieżka na CIGS (P1)



Brak uszkodzeń TCO podczas obróbki aSi/μSi (P3)

w podłożach CIGS warstwa molibdenu jest nieprzezroczysta dla standardowych długości fali lasera i konieczne są cykliczne operacje trasowania pomiędzy nakładaniem kolejnych powłok od drugiej strony.

Usuwanie krawędzi

Usuwanie krawędzi to proces wykonywany podczas produkcji ogniw pomiędzy trasowaniem obszarów aktywnych, a hermetyzacją gotowego ogniwa. Jego celem jest usunięcie jakiegokolwiek pozostałości powłok poza strefą aktywną modułu fotowoltaicznego. Jest to konieczne, aby osiągnąć optymalną hermetyzację i zapobiec przed wnikaniem wilgoci do wnętrza a także, aby uniknąć skoków napięć pomiędzy celami. Ponadto jest niezbędne zapewnienie, aby szkło podłożowe miało wysoki opór właściwy w uwagi na sprawność ogniwa i było pozbawione mikropęknięć, przeszkadzających w zapewnieniu stabilności długoterminowej i długiego czasu eksploatacji modułu.

Duża powierzchnia ogniw skutkuje też wielkim obszarem, z jakiego trzeba usunąć niepotrzebne warstwy ogniwa. Typowo jest to 500 cm² dla jednego modułu, które muszą być zdjęte w czasie około 60 sekund razem z transportem panelu. Uzyskuje się to poprzez bardzo szybki ruch płamki lasera sterowanej skanerem na obszarze kwadratu o rozmiarze około 1×1 mm. Dzięki temu ciśnienie powstającej plazmy wyrzuca w górę wyższe warstwy znad podłoża. Aby osiągnąć taką wydajność moc lasera musi sięgać min. kilkaset watów.

Technologia produkcji

Fabryki cienkowarstwowych paneli fotowoltaicznych pracują non stop, co zapewnia optymalną jakość procesu technologicznego i niskie koszty. Oparcie procesu wytwarzania na obrabiarkach laserowych przekłada się na wysoką wydajność produkcji i dobre parametry samych ogniw. Kluczowe jest przede wszystkim lepsze wykorzystanie dostępnej powierzchni szklanej poprzez minimalizację martwej strefy na brzegach tafli oraz obszarów pomiędzy celami składającymi się na ogniwo oraz zewnętrznymi krawędziami P1 i ścieżki P3 w każdej celi (rys. 1). Celem jest osiągnięcie przerwy o wielkości pomiędzy 200 a 250 mikrometrów, co jest możliwe tylko poprzez precyzyjne pozycjonowanie i wykorzystanie płamki laserowej o małej średnicy.



Rys. 3. Urządzenie laserowe Allegro firmy LPKF do trasowania laserowego paneli aSi/ μ Si GEN 5

Szybkie i precyzyjne trasowanie

Współczesne systemy trasowania linii są w stanie obsługiwać podłoża o rozmiarze do 2,2×2,6 m i realizować operacje oznaczone jako P1-P4. Manipulacja tak dużymi taflami szkła nie jest łatwa, zwłaszcza gdy celem jest duża szybkość prowadzonych operacji. Zamiast prznosić duże i ciężkie jak również kruche podłoża ze szkła można wykorzystać ruchomą głowicę laserową zawierającą kilka równoległe działających emiterów, co zwiokrotnia jej wydajność i ogranicza masę będącą w ruchu. Najnowsze systemy obróbki laserowej do paneli pozwalają na ruchy głowicy z szybkością nawet 2 m/s. Nieruchome podłożo skutecznie zmniejsza ryzyko uszkodzenia ogniw podczas produkcji i pozwala uniknąć ujemnego wpływu drgań na dokładność trasowania. W rozwiązaniu firmy LPKF podłożo jest przenoszone tylko prostopadłe do linii brzegowych cel na długości strony szkła podczas tworzenia linii izolacji. Transport wykorzystuje poduszki powietrzne i granitową podstawę po to, aby zapewnić dokładność pozycjonowania trasowanych ścieżek na poziomie $\pm 3 \mu\text{m}$. Poduszki powietrzne zapewniają brak konieczności noszenia i bezobsługową pracę urządzenia przez lata.

Mimo tych zabiegów największym problemem w uzyskaniu wysokiej jakości są wady geometrii podłoża, np. falistość, która nie pozwala na dobre ogniskowanie promieniowania, przez co jakość obróbki zmienia się w obrębie jednej tafli szkła. Kłopoty sprawiają też

zmiany temperatury, gdyż utrzymanie jednorodnego rozkładu ciepła dla całego podłoża przez cały okres produkcji jest dużym wyzwaniem. Stąd systemy laserowe bazujące na ruchomej głowicy, wyposaża się w układ do dynamicznej korekcji parametrów w locie, poprzez skanowanie powierzchni przed laserem.

Zmienna temperatura podczas produkcji zmienia rozmiary podłoża. Nożna to zjawisko kompensować dokonując pomiaru rozmiaru tafli szklanej, ale nie da się w ten sposób kompensować nierównomiernego rozkładu prowadzącego do zafalowań trasowanych linii i wahań wielkości celi. Osiągnięcie idealnej wąskiej nieaktywnej strefy pomiędzy liniami P2 i P3 i linią P1 nie jest nie jest możliwe, jeżeli linie P2 i P3 będą podążać za pochyloną linią P1 podczas obróbki. Stąd jedynym skutecznym rozwiązaniem zapewniającym pożądaną dokładność jest wykorzystanie systemu wizyjnego zapewniającego monitoring pozycji bocznej linii P1 podczas obróbki, a jednocześnie z boku regulację wszystkich wiązek laserowych w głowicy dla kompensacji odchyłań. Taka regulacja i korekcja następuje bez wpływu na czas trwania cyklu produkcyjnego i umożliwia kompensację odchyłań do 200 μm .

Marc Hüske, LPKF SolarQuipment

Dane kontaktowe

SE Spezial-Electronic Polska
tel. 22 840 91 10, info@spezial.pl
www.spezial.pl