

Zagadnienia dotyczące odzyskiwania utraconej skóry towarzyszą człowiekowi niemal od początku cywilizacji. Najwcześniejsze wzmianki o przeszczepianiu skóry pochodzą z Indii i datowane są na przynajmniej 2500 lat przed p.n.e. [1]. W Europie pierwsze poważne sukcesy osiągnięto we Włoszech XV w., gdzie Brancas dokonał udanego przeszczepu nosa z wykorzystaniem skóry pobranej z ramienia. Przeszczepianie skóry z dziedziny sztuki zmieniło się w procedurę naukową za sprawą Tagliacozzi'ego, który w 1597 r., w dziele pt. „De curtorum chirurgia per insitionem”, opisuje techniki stosowane przez Brancas'a [2].

Nowoczesne techniki przeprowadzania przeszczepów skóry wywodzą się z eksperymentów prowadzonych w XIX w. przez Bungera, który w Niemczech w 1823 r. dokonał pierwszej udanej autotransplantacji skóry u człowieka oraz szwajcarskiego chirurga Reverdina, który po raz pierwszy przeprowadził udaną allotransplantację skóry w 1869 r. Zaledwie dwa lata później, Pollock zastosował powyższą technikę do leczenia ran powstałych w wyniku poparzeń, co przetrąciło szlak dla jednego z najważniejszych obecnie zastosowań przeszczepów skórnych [3].

Dalszy rozwój tych technik w XX w. pozwolił na rozwiązanie wielu problemów dotyczących przechowywania i przeszczepu płatów skóry, a nawet uzyskanie możliwości ich hodowli *in vitro*. Nie oznaczało to jednak końca rozwoju tej dziedziny. W 1987 r. amerykańska National Science Foundation postawiła naukowcom cel uzyskania łatwo dostępnego zamiennika, mającego biologiczne i farmakologiczne właściwości ludzkiej skóry. Badania te zaowocowały stworzeniem w 1998 r. Apligraf – pierwszej w historii sztucznej skóry, będącej dziełem inżynierii tkankowej.

Zaledwie dwa lata temu, interdyscyplinarny zespół z Fraunhofer Institute w Stuttgarcie opracował całkowicie zautomatyzowany proces produkcji sztucznej skóry, złożonej z dwóch warstw zbudowanych z odmiennych rodzajów komórek, a już rozpoczęto prace nad stworzeniem sztucznej skóry zawierającej nawet naczynia krwionośne. Chemicy również nie pozostają w tyle – niedawno opracowano nowy rodzaj syntetycznej membrany, wrażliwej na bodźce dotykowe. Owa e-skóra, jak została ochrzczona przez swych twórców, została zbudowana w większości z syntetycznych polimerów, zarówno typowych, jak i przewodzących.

Dwie drogi do celu

Trudno określić jedynych „prawdziwych” twórców e-skóry, ponieważ powstały dwa jej modele [4, 5], opracowane przez niezależne zespoły naukowców. Wprawdzie funkcjonalność i parametry przedstawionych przez nie materiałów można uznać za porównywalne, jednak charakteryzują się one zupełnie inną strukturą.

Materiał opracowany przez zespół naukowców ze Stanford University, w istocie rzeczy jest arkuszem elastycznego poli(tereftalanu etyleny), z naniesionym nań tlenkiem cyny domieszkowanym tlenkiem indu (ITO), na który naniesiono kawałki poli(dimetylosiloksanu) w kształcie piramid [6]. Jeśli taki arkusz zostanie ściśnięty, otwory uprzednio wypełnione powietrzem zmieniają swój kształt i zostaną wypełnione skompresowanym polimerem, co wpłynie na zmianę pojemności elektrycznej arkusza. Aby możliwe było rejestrowanie

zmian pojemności elektrycznej, arkusz taki nałożono na tranzystor organiczny, za pomocą którego przekształcane są na zmiany prądu płynącego przez tranzystor. Rozdzielczość takiego układu uzyskuje się poprzez zastosowanie sieci tranzystorów, pozwalającej określić nacisk na materiał w określonych punktach. Obecnie trwają prace nad nadaniem mu rozciągliwości porównywalnej z rozciągliwością naturalnej skóry, natomiast uzyskanie biokompatybilności materiału i jego ewentualne zintegrowanie z prawdziwymi tkankami jest zadaniem na przyszłość.

Alternatywne podejście zastosowali naukowcy z University of California w Berkeley, wykorzystując półprzewodnikowe nanoprzewody splecione w kształt sieci [7]. Tak przygotowany materiał naniesiono na gumę wrażliwą na ciśnienie, tzn. zmieniającą swoją oporność elektryczną pod wpływem przyłożonego do niej ciśnienia. W takim układzie, krzyżujące się nanoprzewody funkcjonują jak tranzystory, które z kolei są swego rodzaju pikselami – można bowiem określić przyłożone ciśnienie w każdym z takich punktów. Ponieważ tego rodzaju sztuczna skóra wykonana jest głównie z gumy, jest ona bardzo elastyczna i rozciągliwa – nawet zwinięta w kształt litery „U” zachowuje swoje właściwości.

Podobnie jak w przypadku pierwszej odmiany e-skóry, zastosowanie biomedyczne leży jeszcze w stosunkowo odległej przyszłości, jednak twórcy materiału przewidują jego rychłe zastosowanie w robotyce – w związku z tym ukierunkowują swoje prace na zwiększenie skali, tak aby można było wytworzyć wystarczająco wiele e-skóry, aby pokryć nią w całości korpus robota.

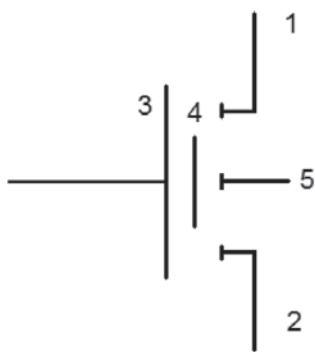
Podsumowując, zasada funkcjonowania obydwu materiałów sprowadza się do wywoływania zmian jednej z własności fizycznych układu, na skutek przyłożenia do niego nacisku, przekształcenia ich na sygnał elektryczny oraz ich rejestracji. Wprawdzie element przekształcający odczuwane ciśnienie na zmianę pojemności elektrycznej lub też oporności jest istotny, podobnie jak i elastyczne podłoże, na które naniesiono układ, prawdziwym sercem e-skóry są tranzystory lub zastępujące je nanoprzewody.

Tranzystory, tranzystory

Istnieją zasadniczo dwa rodzaje tranzystorów, różniące się zasadą działania – bipolarne, wykorzystujące półprzewodniki o różnych rodzajach przewodnictwa (p oraz n), i unipolarne bądź polowe, wykorzystujące tylko jeden rodzaj przewodnictwa typowego dla półprzewodników. Ponieważ jedną z cech charakteryzujących e-skórę powinna być elastyczność, nie stosuje się sztywnych tranzystorów krzemowych, lecz organiczne, otrzymywane na podłożach polimerowych. Dodatkowo, pożądane jest posiadanie możliwości rejestracji stanu poszczególnych tranzystorów, czyli pamięci; w efekcie wybór naukowców padł na organiczne tranzystory polowe z tzw. pływającą bramką [8].

W najprostszym przypadku, tranzystor polowy składa się ze źródła i drenu, pomiędzy którymi wytwarza się tzw. kanał, którym płynie prąd, oraz bramki, pomiędzy którymi a źródłem przykłada się napięcie w celu regulacji przewodnictwa kanału. Fizycznie tranzystor polowy może być zbudowany na wiele różnych sposobów, zarówno w zależności od charakteru izolacji bramki od kanału, jak i materiałów, z których wykonany jest sam tranzystor.

Idea tranzystora polowego z „pływającą” bramką polega na wprowadzeniu do układu dodatkowej bramki, mającej za zadanie gromadzenie elektronów lub dziury, jeśli pomiędzy bramkę sterującą a źródło zostanie przyłożone odpowiednie wysokie napięcie [9]. Nagromadzony ładunek ekranuje wówczas częściowo pole elektryczne wytwarzane w układzie; jeśli będzie on wystarczająco duży, może spowodować zatrzymanie przepływu prądu przez tranzystor w normalnych warunkach jego pracy. Ładunek ten można usuwać, np. w przypadku tranzystorów opartych na krzemie, stosuje się światło o odpowiedniej długości fali, lecz można również odwrócić polaryzację napięcia pomiędzy bramką sterującą a źródłem. Powyższy rodzaj tranzystora szeroko stosowany jest w produkcji pamięci elektronicznych (tzw. pamięć EPROM).



Rys. 1. Schemat ideowy tranzystora polowego z pływającą bramką. 1 – źródło; 2 – dren; 3 – bramka sterująca; 4 – bramka pływająca; 5 – podłoże

Prosty czujnik ciśnienia...

Fundament pod późniejsze modele sztucznej skóry położył zespół naukowców pod kierownictwem T. Sekitani, który opracował elastyczny czujnik o dużej powierzchni, mogący mierzyć rozkład przestrzenny przyłożonego doń nacisku i zachowywać uzyskane dane w pamięci nawet przez dwanaście godzin [8].

Czujnik ten otrzymano poprzez laminowanie ze sobą trzech warstw:

- arkusz poli(naftalenianiu etylenu), na który nałożono sześćset siedemdziesiąt sześć komórek pamięci, każda składająca się z dwóch tranzystorów, tak aby utworzyły kwadratową tablicę o boku dwudziestu sześciu komórek
- arkusz gumy czulej na nacisk
- arkusz poli(naftalenianiu etylenu) z elektrodą miedzianą.

Warstwy te połączono w taki sposób, aby bramki sterujące każdej z komórek miały kontakt elektryczny z dolną powierzchnią warstwy gumy, zaś górna powierzchnia warstwy gumy miała kontakt z elektrodą miedzianą.

Posiadając taki czujnik, kwestie jego usprawnienia, poprzez zamianę poszczególnych tranzystorów na układ nanodrutów, czy też właściwości ulegającej zmianie, z oporności elektrycznej na pojemność elektryczną, mimo iż istotne, nie wydają się być aż tak przełomowym odkryciem. Można więc pokusić się o stwierdzenie, iż e-skóra poza dwoma ojcami posiada również dziadka, który wniósł równie istotny wkład w jej powstanie.

Literatura

1. Hauben D., Baruchin A., Mahler D.: *On the History of the Free Skin Graft*. Ann Plast Surg 1982, **9**, 3, 242-246.
2. Davis J.: *The Story of Plastic Surgery*. Ann Surg 1941, **113**, 641-656.
3. Chick L.: *Brief History and Biology of Skin Grafting*. Ann Plast Surg 1988, **21**, 4, 358-365.
4. HYPERLINK <http://www.nature.com/news/2010/100912/full/news.2010.463.html>, www.nature.com, date accessed 03.11.2011.

5. HYPERLINK <http://news.stanford.edu/news/2010/september/sensitive-artificial-skin-091210.html>, www. news.stanford.edu, date accessed 03.11.2011 r.
6. Mannsfeld S., Tee B.: *Highly sensitive flexible pressure sensors with microstructured rubber dielectric layers*. Nature Materials 2010, **9**, 859-864.
7. Takei K.: *Nanowire active-matrix circuitry for low-voltage macroscale artificial skin*. Nature Materials 2010, **9**, 821-826.
8. Sekitani T.: *Organic Nonvolatile Memory Transistors for Flexible Sensor Arrays*. Science 2009, **326**, 1516-1519.
9. The patent application nr GB 2395065 A, Wielka Brytania.

Prof. dr hab. inż. Mieczysław ŁAPKOWSKI – ukończył studia w 1974 r. na Wydziale Inżynierii i Technologii Chemicznej Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Doktorat obronił w 1982 r., habilitację uzyskał w 1990 r., a tytuł profesora w 1998 r. Obecnie jest Kierownikiem Katedry Fizykochemii i Technologii Polimerów Wydziału Chemicznego Politechniki Śląskiej i profesorem w Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN w Zabrze.

Mgr inż. Tomasz JAROSZ – w 2011 r. ukończył Wydział Chemiczny Politechniki Śląskiej, gdzie obecnie jest doktorantem.

V Ogólnopolskie Sympozjum - nauka i przemysł - metody spektroskopowe w praktyce nowe wyzwania i możliwości

Lublin, 12-14 czerwca 2012 r.

V Ogólnopolskie Sympozjum „Nauka i przemysł – metody spektroskopowe w praktyce, nowe wyzwania i możliwości”, odbędzie się w dniach 12-14 czerwca 2012 r. na Wydziale Chemii UMCS w Lublinie. Organizatorzy zapraszają również młodych adeptów nauki – uczestników studiów doktoranckich i koła studenckie do wzięcia udziału w tej konferencji.

Sympozjum stanowić będzie okazję do zaprezentowania dorobku naukowego, nowoczesnych procedur i badań analitycznych prowadzonych w rozmaitych placówkach, jak również zwiedzania wybranych instalacji produkcyjnych w Zakładach Azotowych oraz w Instytucie Nawozów Sztucznych w Puławach.

Komitet Organizacyjny

- Prof. dr hab. Zbigniew Hubicki – przewodniczący, UMCS, Lublin
- Prof. dr hab. Edward Rój – INS Puławy – zastępca przewodniczącego
- Mgr Marzena Gęca – sekretarz, UMCS, Lublin
- Mgr Bożena Górecka – członek komitetu, INS, Puławy
- Dr Dorota Kołodyńska – członek komitetu, UMCS, Lublin
- Mgr Alicja Stołecka – członek komitetu, INS, Puławy
- Dr Monika Wawrzkiwicz – członek komitetu, UMCS, Lublin
- Mgr Emil Zięba – członek komitetu, KUL, Lublin

Kontakt

Zakład Chemii Nieorganicznej Wydziału Chemii UMCS
Pl. Marii Curie-Skłodowskiej 2
20-031 Lublin
tel. 81 537 57 36 lub 81 537 57 38
e-mail: npmslublin@gmail.com

Wszelkie informacje związane z sympozjum dostępne są na stronie internetowej:
<http://www.npms.umcs.lublin>