

## Sposób wytwarzania grafenu.

Wynalazek dotyczy sposobu wytwarzania grafenu. Bardziej szczegółowo, wynalazek obejmuje metodę otrzymywania grafenu poprzez jego epitaksję z fazy gazowej, a także sposób kontrolowania wzrostu i zarodkowania w takiej metodzie.

Grafen to dwuwymiarowa, płaska forma węgla o heksagonalnym ułożeniu atomów [K.S.Novoselov, et al. *Science* 306,666 (2004), A.K. Geim, K.S. Novoselov, *Nat. Mat.* 6 (2007) 183, Y.B.Zhang, Y.W.Tan, H.L.Stormer, and P.Kim, *Nature* **438**, 201 (2005)]. Elektrony w grafenie posiadają liniową zależność energii od pędu krystalicznego i zachowują się jak relatywistyczne cząstki o masie zero. Struktura grafenu, charakteryzująca się tzw. ułożeniem atomów w „plaster miodu” posiada dwa atomy w komórce elementarnej. Wiązania występujące pomiędzy atomami węgla są typu  $\sigma$  (hybrydyzacja  $sp^2$ ), a najniższe pasmo przewodnictwa i najwyższe pasmo walencyjne stworzone jest ze stanów rezonansowych typu  $\pi$ . Strefa Brillouina jest heksagonem, w którego sześciu narożach pojawia się liniowa zależność energii od wektora falowego elektronu  $k$ , zarówno dla elektronów jak i dziur oraz zerowa przerwa energetyczna. Z tego powodu grafen ma charakterystykę semi-metalu. Z liniowej zależności energii elektronu od wektora falowego, takiej jak dla fotonu, wynika zerowa masa efektywna elektronów i dziur. Opis takiego zachowania elektronów i dziur wymaga, w miejsce równania Schroedingera, zastosowania równania Diraca dla relatywistycznej cząstki o spinie  $\frac{1}{2}$  i o masie równej zero. Liczne doświadczenia z ostatnich lat potwierdziły, że elektrony w grafenie zachowują się jak fermiony Diraca, charakteryzując się anomalnym kwantowym efektem Hall'a, a transport w grafenie ma charakter balistyczny [M.L.Sadowski, G.Martinez, M.Potemski, C.Berger, and W.A. de Heer, *Phys. Rev. Lett.* **97**, 266405 (2006), D.L.Miller, K.D.Kubista, G.M.Rutter, et al., *Science* **324**, 924 (2009)]. Niezwykłe elektronowe własności grafenu oraz jego wysoka stabilność chemiczna, czynią go bardzo atrakcyjnym dla przyszłej elektroniki [Novoselov K.S., Geim A.K., *Nature Materials* 6, 183 (2007)]. Ruchliwości nośników w grafenie są bardzo wysokie, rzędu  $200000\text{cm}^2/\text{Vs}$ , czyli o przeszło rząd wielkości większe niż w tranzystorach krzemowych [Lin Y.M. et al, *Science* 327, 662 (2010)]. Zapewnia to balistyczny transport na odległości rzędu wielu mikrometrów. Dodatkowo, gęstość prądu

w grafenie jest ponad 100 razy wyższa niż w miedzi ( $10^8$  A/cm<sup>2</sup>) [M.Wilson, *Phys.Today*, p.21(Jan.2006)].

Grafen można otrzymać kilkoma metodami. Pierwsza opracowana przez K.S.Novoselova i A.K.Geima polega na odrywaniu, za pomocą taśmy klejącej, małych płatków grafitu od grafitowego bloku. Wielokrotne przeklejenie płatków grafitowych prowadzi do ich ścieniania aż do uzyskania grubości rzędu pojedynczych warstw atomów węgla. Metoda umożliwiła wyodrębnienie płatka grafenu i stwierdzenie wysokiej ruchliwości nośników. Wadą metody są bardzo małe rozmiary otrzymywanych płatków, których powierzchnia wynosi zaledwie kilkaset do tysiąca mikrometrów kwadratowych, niezwykle niska wydajność procesu selekcji płatków wykonywanego ręcznie, a w związku z tym ich wysoka cena. Metoda niemożliwa do zastosowania w przemyśle elektronicznym.

Druga metoda opracowana przez W. de Heera i C.Berger [C.Berger, Z.Song, T.Li, X.Li, et al., *J.Phys.Chem., B* **108**, 19912 (2004), W.A.de Heer, C.Berger, X.Wu, et al, *Solid State Commun.* **143**, 92 (2007), K.V.Emtsev et al., *Nat. Mater.* **8**, 203 (2009)] na podstawie wcześniejszych doniesień [A.J.Van Bommel, J.E.Crombeen, and A.Van Tooren, *Surf. Sci.* **48**, 463 (1975), I. Forbeaux, J.-M. Themlin, and J.-M. Debever *PHYSICAL REVIEW B VOLUME 58, NUMBER 24* (1998)] dotyczących grafityzacji powierzchni węgla krzemu polega na otrzymywaniu w warunkach próżni, cienkiej warstwy węgla na powierzchni SiC w wyniku sublimacji krzemu w wysokiej temperaturze powyżej 1100<sup>0</sup>C. W takiej temperaturze, krzem ulatnia się z powierzchni, która staje się bogata w węgiel. Węgiel obecny na powierzchni jest stabilny nawet w postaci jednej-dwóch warstw atomów. W ten sposób można uzyskiwać grafen o grubości od kilku do kilkudziesięciu warstw atomów węgla. Szybkość wzrostu grafenu kontroluje się poprzez wytwarzanie w komorze reakcyjnej wstępnego ciśnienia parcjalnego krzemu pochodzącego z sublimacji SiC i prowadzenie dalszego procesu w warunkach bliskich równowagi. Odmiana metody zaproponowana w [K.V.Emtsev et al., *Nat. Mater.* **8**, 203 (2009), W.Strupiński, et al, *Mater. Science Forum Vols. 615-617* (2009)] umożliwia przeprowadzenie procesu wzrostu grafenu w atmosferze argonu w obniżonym lub atmosferycznym ciśnieniu. Dobierając odpowiednio ciśnienie (od 100mbar do 1bar) i temperaturę procesu (od 1100°C do 1800°C) kontroluje się szybkość wzrostu grafenu.

Opisana metoda jest obecnie najczęściej wykorzystywana. Wady metody to: trudność w uzyskiwaniu stanu równowagi ciśnienia Si w próżni, co ogranicza wykorzystanie przemysłowe oraz uzależnienie jakości grafenu od jakości podłoża SiC, z którego następuje sublimacja krzemu, co prowadzi do niejednorodności parametrów grafenu.

Kolejna metoda polega na nanoszeniu warstw atomów węgla na podłoża metaliczne typu nikiel, wolfram, miedź. Wykorzystuje się tu znaną technikę nanoszenia cienkich warstw epitaksjalnych CVD (Chemical Vapor Deposition). Źródłem węgla jest metan, propan, acetylen, benzen, który rozkłada się w wysokiej temperaturze. Uwolniony węgiel osadza się na podłożu metalicznym. W zastosowaniach elektronicznych konieczne jest następnie odklejenie grafenu od przewodzącego metalu (poprzez rozpuszczanie metalu w odczynnikach chemicznych) i umieszczenie na izolowanym podłożu [Kim, K. S., et al., *Nature* **2009**, 457, Reina, A., et al., *J. Nano Lett.* **2009**, 9]. Metoda przenoszenia grafenu jest poważnym utrudnieniem i ograniczeniem dla wdrożeń przemysłowych. W trakcie przenoszenia grafen pęka na mniejsze obiekty. Poza tym powierzchnia metalu nie jest wystarczająco gładka w porównaniu z powierzchnią węgliku krzemu.

Dodatkowo stosuje się metody otrzymywania grafenu wykorzystujące redukcję chemiczną tlenku grafenu [Park, S.; Ruoff, R. S. *Nat. Nanotechnol.* **2009**, 4, 217–224, Paredes, J. I.; Villar-Rodil, S., et al., *Langmuir* **2009**, 25 (10), 5957–5968] oraz rozpuszczanie grafitu w rozpuszczalnikach [Blake, P. Brimicombe, P. D. Nair, et al., *Nano Lett.* **2008**, 8 (6), 1704–1708, Hernandez, Y. Nicolosi, V. Lotya, et al., *J. N. Nat. Nanotechnol.* **2008**, 3, 563–568], a następnie poprzez odparowywanie wyodrębnianie fazy stałej węgla w postaci cienkich płatków. Jednakże, grafen uzyskiwany takimi metodami charakteryzuje się bardzo niską jakością.

W przypadku metody polegającej na epitaksji węgla (CVD), atrakcyjne dla zastosowań elektronicznych jest podłoże z SiC (węgiel krzemu), które w zależności od potrzeb może mieć właściwości wysoko-oporowe (półizolacyjne) lub nisko-rezystywne. (Przewodzące podłoża metaliczne z warstwą grafenu uniemożliwiają wykonanie np. tranzystora). Proces CVD wymaga wysokich temperatur. Dolny zakres ograniczony jest temperaturą termicznego rozkładu gazowego prekursora węgla (ok. 1000°C), jednakże

grafen o wymaganej jakości strukturalnej wymaga temperatur w zakresie 1500 – 1800°C. W tej temperaturze następuje niekorzystny z punktu widzenia epitaksji, rozkład podłoża SiC czyli sublimacja krzemu. Zanim zostanie osiągnięta temperatura wzrostu epitaksjalnego następuje wzrost grafenu poprzez sublimację Si (od ok. 1300°C). Zatem, pierwsze i najważniejsze dla parametrów grafenu warstwy atomów węgla powstaną znaną metodą odparowania krzemu, a nie epitaksji CVD. Również po zakończeniu epitaksji CVD niekontrolowana sublimacja przyczyni się do dalszego niepożądanego wzrostu kolejnych warstw węgla. Dlatego też celem obecnego wynalazku jest zaproponowanie sposobu wytwarzania grafenu poprzez epitaksję z fazy gazowej (CVD), w której można zastosować podłoża z SiC, dzięki kontroli nad procesem sublimacji krzemu z takiego podłoża. Dalszym celem obecnego wynalazku jest umożliwienie wzrostu zarodków grafenu na podłożu z SiC, poprzez kontrolowaną sublimację krzemu z tego podłoża, a następnie osadzanie warstw epitaksjalnych grafenu na tak otrzymanych zarodkach o zdefiniowanej geometrii (wyspy). Zastosowanie epitaksji CVD do wytwarzania grafenu pozwala także na wzrost grubszych warstw grafenu turbostratycznego na polarności węglowej podłoża SiC, ale także na polarności krzemowej, co jest nieosiągalne metodą sublimacji Si. Dodatkowo, możliwa jest modyfikacja struktury elektronowej grafenu (separacja energetyczna poziomu Fermiego i punktu Dirac'a) w wyniku przerywania wzrostu epitaksjalnego CVD i wprowadzaniu reaktywnych chemicznie domieszek. Istotne jest, aby po przerwaniu procesu wzrostu grafenu nie następował niekontrolowany dalszy proces sublimacji lub trawienia.

Zgodnie z wynalazkiem, sposób wytwarzania grafenu poprzez jego epitaksję z fazy gazowej na podłożu posiadającym powierzchnię z SiC charakteryzuje się tym, że proces sublimacji krzemu z podłoża kontroluje się za pomocą przepływu gazu obojętnego przez reaktor epitaksjalny. Dzięki temu możliwe jest osadzanie pojedynczych warstw węgla.

Korzystnie przepływ wspomnianego gazu obojętnego wynosi od 6 l/min do 70 l/min, korzystnie od 18 l/min do 26 l/min.

W innym korzystnym wariantcie, przepływ wspomnianego gazu obojętnego jest mniejszy niż 6 l/min, przez co uniemożliwia się całkowicie proces sublimacji krzemu z podłoża.

W jednym z wariantów realizacji wynalazku, początkowo stosuje się przepływ gazu obojętnego w zakresie od 6 l/min do 70 l/min, korzystniej od 18 l/min do 26 l/min, co umożliwia powstanie zarodków grafenu na powierzchni podłoża z SiC w procesie kontrolowanej sublimacji krzemu z podłoża, a następnie przepływ gazu obojętnego zmniejsza się do wartości mniejszej niż 6 l/min, uniemożliwiając dalszą sublimację krzemu i prowadzi się epitaksję grafenu z fazy gazowej na tak otrzymanych zarodkach.

Wspomniane tutaj wartości przepływów zostały dobrane dla konkretnego reaktora epitaksyjnego, a mianowicie urządzenia (model VP508), produkowanego przez firmę AIXTRON AG, Niemcy. Przepływ 26 l/min mógłby być zwiększony (bez wpływu na proces wzrostu), ale w tym urządzeniu jest to górny zakres przepływomierza. W reaktorze o innej geometrii przepływy mogą być inne i trzeba je dobrać eksperymentalnie, zgodnie z zasadami znanymi biegłym w dziedzinie.

Korzystnie proces epitaksji poprzedzony jest etapem trawienia podłoża w temperaturze od 1400°C do 2000°C, a jeszcze korzystniej od 1400°C do 1700°C.

W preferowanym przykładzie realizacji wynalazku wspomniane trawienie odbywa się przy ciśnieniu od 10 mbar do 1000 mbar, a jeszcze korzystniej od 50 mbar do 100 mbar.

Trawienie prowadzić można także przy wyższych ciśnieniach, ale nie ma ku temu wskazań, bo po trawieniu i tak trzeba obniżyć ciśnienie celem przeprowadzenia procesu epitaksji. Nie stwierdzono, aby jakość trawienia była wyższa dla wyższych wartości ciśnienia.

Korzystnie wspomniane trawienie odbywa się w atmosferze gazu zawierającej wodór. Jeszcze korzystniej, wspomniana atmosfera zawiera dodatkowo propan, silan lub ich mieszaniny.

Korzystnie wspomniane trawienie odbywa się przy przepływie wspomnianego gazu w zakresie od 5 l/min do 90 l/min, a jeszcze korzystniej od 70 l/min do 90 l/min.

Zgodnie z wynalazkiem, o ile wspomniane trawienie odbywa się w atmosferze zawierającej wodór, korzystnie stosuje się przepływ wodoru od 70 l/min do 90 l/min. Jeśli wspomniane trawienie odbywa się w atmosferze zawierającej silan, korzystnie stosuje się przepływ silanu od 1ml/min do 100ml/min, a jeszcze korzystniej od 5ml/min do 10ml/min. Jeśli zaś wspomniane trawienie odbywa się w atmosferze zawierającej propan, korzystnie stosuje się przepływ propanu od 1ml/min do 100ml/min, a jeszcze korzystniej od 5ml/min do 10ml/min.

Korzystnie używa się podłoża o politypie wybranym spośród 4H-SiC, 6H-SiC, 3C-SiC.

Korzystnie epitaksję prowadzi się na stronie podłoża o polarności Si.

W preferowanym przykładzie realizacji wynalazku wspomnianym gazem obojętnym jest gaz szlachetny, korzystnie argon.

Jeśli wspomnianym gazem obojętnym jest argon, to korzystnie stosuje się ciśnienie argonu od  $10^{-4}$  mbar do ciśnienia atmosferycznego.

Argon jest optymalnym wyborem z punktu widzenia zastosowania w sposobie według obecnego wynalazku. Pozostałe gazy obojętne także nadają się do epitaksji, ale w praktyce stosowane są niezmiernie rzadko, ze względu na wysokie koszty, ograniczoną dostępność tych gazów i ograniczoną dostępność oczyszczalników. Stosując gazy obojętne inne niż argon, należy odpowiednio zmienić wskazane wcześniej przepływy, ze względu na inną – niż w przypadku argonu – masę cząsteczki gazu.

W preferowanym przykładzie realizacji wynalazku wspomnianym gazem obojętnym jest argon, podłoże z SiC przetrzymuje się w temperaturze powyżej 1100°C oraz iloczyn ciśnienia argonu w reaktorze i przepływu argonu przez reaktor dobiera się w taki sposób, aby nad powierzchnią podłoża utworzyć warstwę stojącą argonu, uniemożliwiającą sublimację krzemu, [przez co blokuje się sublimację krzemu z powierzchni podłoża SiC.

Wynalazek obejmuje także grafen otrzymany sposobem według wynalazku.

Obecny wynalazek zostanie bardziej szczegółowo przedstawiony w przykładach wykonania z odniesieniem do załączonego rysunku, na którym:

Fig. 1 przedstawia komercyjne urządzenie przeznaczone do epitaksji węgliku krzemu wykorzystane do opracowania wynalazku. Urządzenie (model VP508) produkowane jest przez firmę AIXTRON AG, Niemcy;

fig. 2 przedstawia ideowy schemat komory reakcyjnej urządzenia VP508 wykorzystanej do opracowania wynalazku;

fig. 3A) – 3E) przedstawiają mechanizm kontroli sublimacji krzemu z powierzchni podłoża SiC oraz zasadę osadzania grafenu w procesie CVD z propanu;

fig. 4A) przedstawia obraz z mikroskopu tunelowego świadczący o uzyskaniu cienkiej warstwy grafenu na powierzchni SiC w przykładzie 4;

fig. 4B) przedstawia wynik pomiaru metodą spektroskopii Ramana świadczący o uzyskaniu cienkiej warstwy grafenu na powierzchni SiC w przykładzie 4, zaś

fig. 5 przedstawia obraz z mikroskopu tunelowego pokazujący izolowane wyspy grafenu.

Ponadto, na fig. 2 oraz fig. 3A)-3E) użyto następujących oznaczeń: 1- ciśnieniomierz, 2-grzejniki, 3-próbka, 4-zamknięcie komory, 5-wlot gazów, 6-tuba kwarcowa, 7-pompa, 8-wylot gazów, 9-sublimacja Si, 10-argon, 11-zarodki grafenu, 12-propan.

#### Korzystne przykłady wykonania wynalazku

##### **Przykład 1**

W procesie epitaksji grafenu metodą CVD (Chemical Vapor Deposition) użyto komercyjnego reaktora VP508 (fig.1) oraz komercyjne podłoża z węgliku krzemu polityp 4H-SiC, 6H-SiC oraz 3C-SiC o orientacji (0001) oraz (000-1). Stosowano także podłoża z kilkustopniową dezorientacją (0-8 stopni) dostępne u producentów: m.in. Cree (USA), SiCrystal (Niemcy). Powierzchnia podłoży była przygotowana przez producenta do epitaksji SiC (tzw. powierzchnia „epi-ready”). Dodatkowo, podłoża były trawione w urządzeniu do epitaksji, przed właściwym procesem wzrostu grafenu, w mieszaninie wodoru i propanu lub silanu w temperaturze 1600°C i ciśnieniu 100mbar. Przepływ

wodoru – 60 l/min, propanu/silanu w zakresie od 5 do 10ml/min. Wielkość podłoża uzależniona od zastosowanego nagrzewnika – od próbek kwadratowych o wymiarach 10mm x 10mm do całych płytek o średnicy 2 lub 3 cale.

Podłoża SiC umieszczone w reaktorze (fig. 2) poddane wygrzewaniu ulegają dekompozycji termicznej (sublimacji krzemu z powierzchni). Jeśli wygrzewanie prowadzi się w atmosferze wodoru, powstający na powierzchni węgiel przereagowuje z wodorem, w wyniku czego kolejne warstwy SiC ulegają odtrawieniu. Zastąpienie wodoru argonem lub zastosowanie próżni skutkuje odkładaniem się węgla na powierzchni podłoża powstałego z termicznego rozkładu kolejnych warstw atomowych SiC (fig. 3A). Wydajność sublimacji krzemu wzrasta wraz ze zwiększaniem temperatury i zmniejszaniem ciśnienia. W wyniku odpowiedniej rekonstrukcji atomów węgla na powierzchni uzyskuje się kolejne warstwy grafenu. Zakres stosowanych ciśnień argonu wynosi od  $10^{-4}$  mbar do ciśnienia atmosferycznego. Jeżeli prędkość liniowa cząsteczek argonu nad powierzchnią podłoża będzie wystarczająco duża, przepływający gaz nie hamuje procesu sublimacji. Jeżeli prędkość ta zostanie zmniejszona poniżej krytycznej wartości będącej iloczynem ciśnienia w reaktorze i przepływu wyrażonego w l/min, powstaje stojąca warstwa gazu – argonu nad podłożem (tzw. „stagnant layer”). Warstwa, której grubość zależy od ciśnienia i przepływu blokuje sublimację krzemu z powierzchni podłoża do otaczającej atmosfery (fig. 3B). Dla konkretnej geometrii reaktora wartość iloczynu przepływu i ciśnienia charakterystyczna dla powstania warstwy stojącej gazu będzie inna i dobierana jest eksperymentalnie. W przypadku reaktora VP508 zastosowano przepływ argonu 6l/min i ciśnienie 100mbar, aby całkowicie zablokować proces sublimacji. Jeśli przepływ argonu zostanie zwiększony do wartości (dla przypadku VP508) 26 l/min, grubość warstwy stojącej ulega zmniejszeniu umożliwiając ponowną sublimację krzemu (fig. 3C). Przepływem argonu można zatem regulować grubość warstwy gazu blokującej sublimację Si, tym samym regulując wydajność sublimacji od najwydajniejszej dla danej temperatury i ciśnienia w reaktorze aż do całkowitego jej zablokowania. W ten sposób można otrzymywać warstwy grafenu metodą sublimacji w precyzyjnie kontrolowanym czasie. Fig. 4 przedstawia obraz z mikroskopu tunelowego (A) oraz wynik pomiaru metodą spektroskopii Ramana (B) świadczący o uzyskaniu cienkiej warstwy grafenu na powierzchni SiC. Grubość grafenu

była określona metodą elipsometrii i wynosiła w tym przypadku 7 warstw atomowych węgla.

### **Przykład 2**

Postępowano analogicznie jak w przykładzie 1, z tą jedynie różnicą, że proces sublimacji prowadzono przez bardzo krótki okres czasu: w warunkach ciśnienia 100mbar i przepływu argonu 26 l/min przez 10 sekund lub przez 4 minuty przy obniżonym przepływie do 20 l/min. Dzięki temu wywołano wzrost małych obiektów (wysp) węgla na powierzchni podłoża SiC poprzez uruchomienie sublimacji w odpowiednio krótkim przedziale czasu (fig. 3D). Wyspy węglowe można wykorzystać opcjonalnie do późniejszego wzrostu grafenu jako zarodki uzyskane metodą sublimacji. Fig. 5 zawiera obraz z mikroskopu tunelowego pokazujący izolowane wyspy grafenu.

### **Przykład 3**

Postępowano analogicznie jak w przykładzie 1, z tą różnicą, że po wytrawieniu podłoża zastosowano niską szybkość przepływu argonu (6 l/min, przy ciśnieniu 100mbar) nie dopuszczając do procesu sublimacji krzemu z powierzchni podłoża. Wzrost grafenu zrealizowano w wyniku procesu CVD wprowadzając do reaktora gaz – propan w ilości 2ml/min (fig. 3E). Pomimo, że sublimacja krzemu jest w takich warunkach zablokowana, cząsteczki propanu dyfundują przez warstwę stojącego gazu do powierzchni podłoża. W rezultacie na powierzchni SiC, która nie ulegała sublimacji osadza się warstwa grafenu o kontrolowanej grubości za pomocą czasu przepływu propanu przez reaktor. Wyłączenie propanu kończy proces osadzania. Wzrost grafenu przeprowadzono na podłożu SiC o orientacjach (0001) i (000-1). Otrzymany grafen charakteryzował się podobnymi parametrami jak grafen otrzymany w wyniku sublimacji. Grubość grafenu mierzona metodą elipsometrii można kontrolować w zakresie od jednej warstwy atomów węgla do 100 warstw i więcej.

### **Przykład 4**

Postępowano analogicznie jak w przykładzie 2, z tą różnicą, że po otrzymaniu izolowanych wysp grafenu, zatrzymano sublimację poprzez zmniejszenie przepływu argonu do 6 l/min i rozpoczęto wzrost grafenu metodą CVD jak w przykładzie 3, wykorzystując wcześniej otrzymane wyspy jako zarodki do wzrostu metoda CVD. W tym

przypadku w początkowej fazie (1-2 warstwy atomów) wzrost ten następował lateralnie. Sposób ten ma na celu poprawę jakości otrzymywanego grafenu. Jednakże, na podstawie dostępnych obecnie metod charakteryzacyjnych trudno jeszcze stwierdzić wpływ wykorzystania zarodków sublimacyjnych na obniżenie zdefektowania grafenu.

### **Przykład 5**

Postępowano analogicznie jak w przykładzie 3, z tą różnicą, że przed właściwym procesem osadzania grafenu przeprowadzono proces epitaksji SiC na podłożu SiC w celu poprawienia jakości morfologii powierzchni. Grafen osadzano następnie na tak zmodyfikowanym podłożu. Uzyskano wyraźną poprawę jakości oraz lepszą jednorodność. Jednakże, główną zaletą tego sposobu jest wydatne zmniejszenie wpływu jakości podłoża na przebieg procesu wzrostu grafenu. Uzyskano większą powtarzalność między procesami. Jakość grafenu potwierdzono pomiarami Ramana obserwując stabilność piku 2D pochodzącego od warstwy węgla oraz obecność/amplitudę piku D (ang. „defects”) związanego z zaburzeniami wzrostu grafenu.