



Właściwości strukturalne tlenku galu otrzymanego metodą ALD



Ł. Wachnicki, S. Gierałowska, W. Woźniak, E. Guziewicz

Instytut Fizyki, Polska Akademia Nauk, al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa, Polska

Wprowadzenie

Tlenek galu (Ga_2O_3), z szeroką przerwą energetyczną 4.8-4.9 eV, w ostatnim czasie przyciągnął wiele uwagi naukowej i technologicznej ze względu na jego przyszłe zastosowania w energoelektronice - tranzystory polowe, diody z barierą Schottky'ego, w optoelektronice - luminofory, fotodetektory, w pamięciach, w systemach wykrywania - czujniki gazu. Gal jest niestabilnym i rzadkim pierwiastkiem w przyrodzie, natomiast Ga_2O_3 , rozpuszczalny w większości kwasów i zasad, jest jednak stabilny i nierozpuszczalny w wodzie. Ga_2O_3 posiada pięć różnych struktur atomowych określanych jako polimorficzne, takie jak α - Ga_2O_3 (struktura romboedryczna), β - Ga_2O_3 (jednoskośna), γ - Ga_2O_3 (spinelowa), δ - Ga_2O_3 (kubiczna), ϵ - Ga_2O_3 (ortorombowa). Tlenek galu charakteryzujący się każdą z tych struktur ma unikalne właściwości fizyczne i może być szeroko stosowany w różnych wyżej wymienionych urządzeniach.

NAPRZEMIENNE DOSTARCZANIE SKŁADNIKÓW

- Brak reakcji w fazie gazowej
- Możliwość użycia agresywnych prekursorów
- Możliwa niska temperatura wzrostu!

WYSOKA JEDNORODNOŚĆ

- Pokrycie bardzo skomplikowanych struktur

SAMOOGRANICZĄCE SIĘ PROCESY

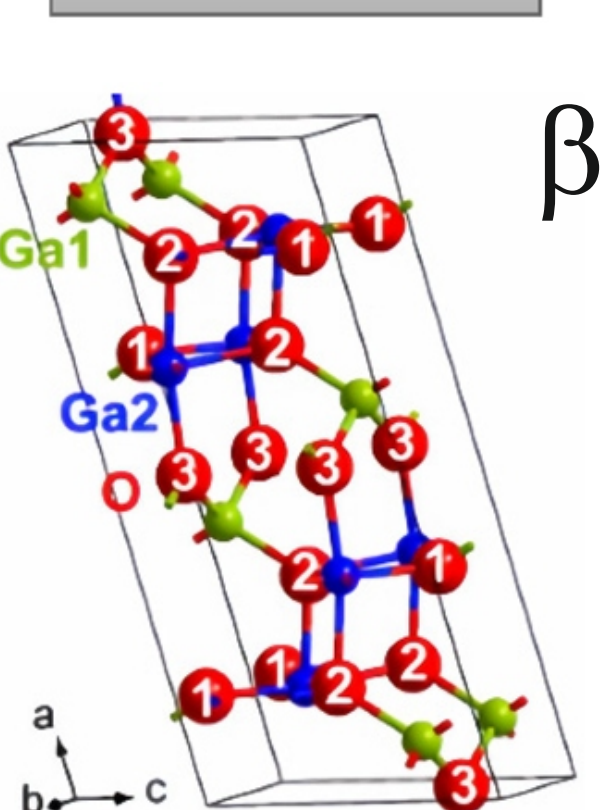
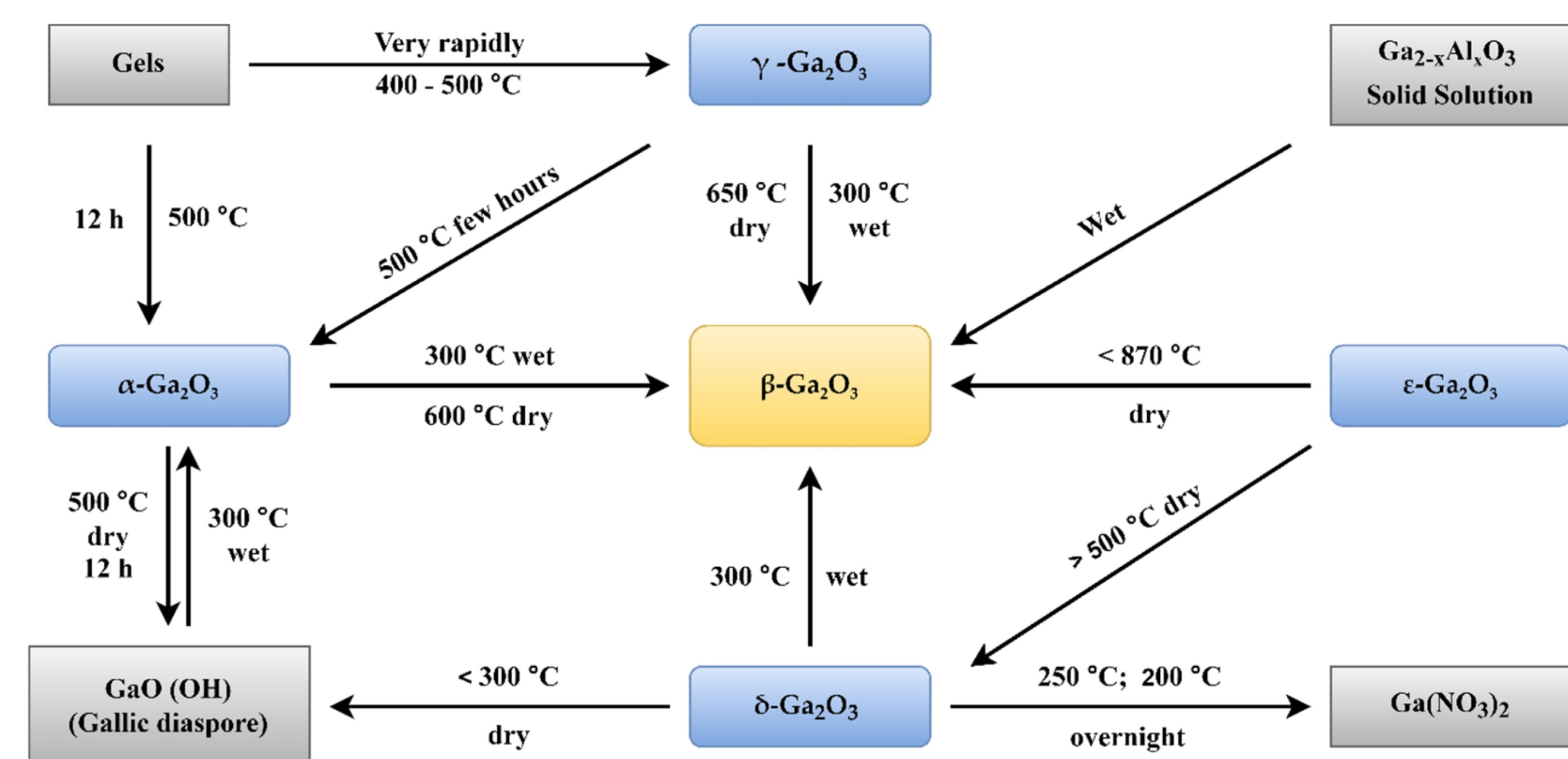
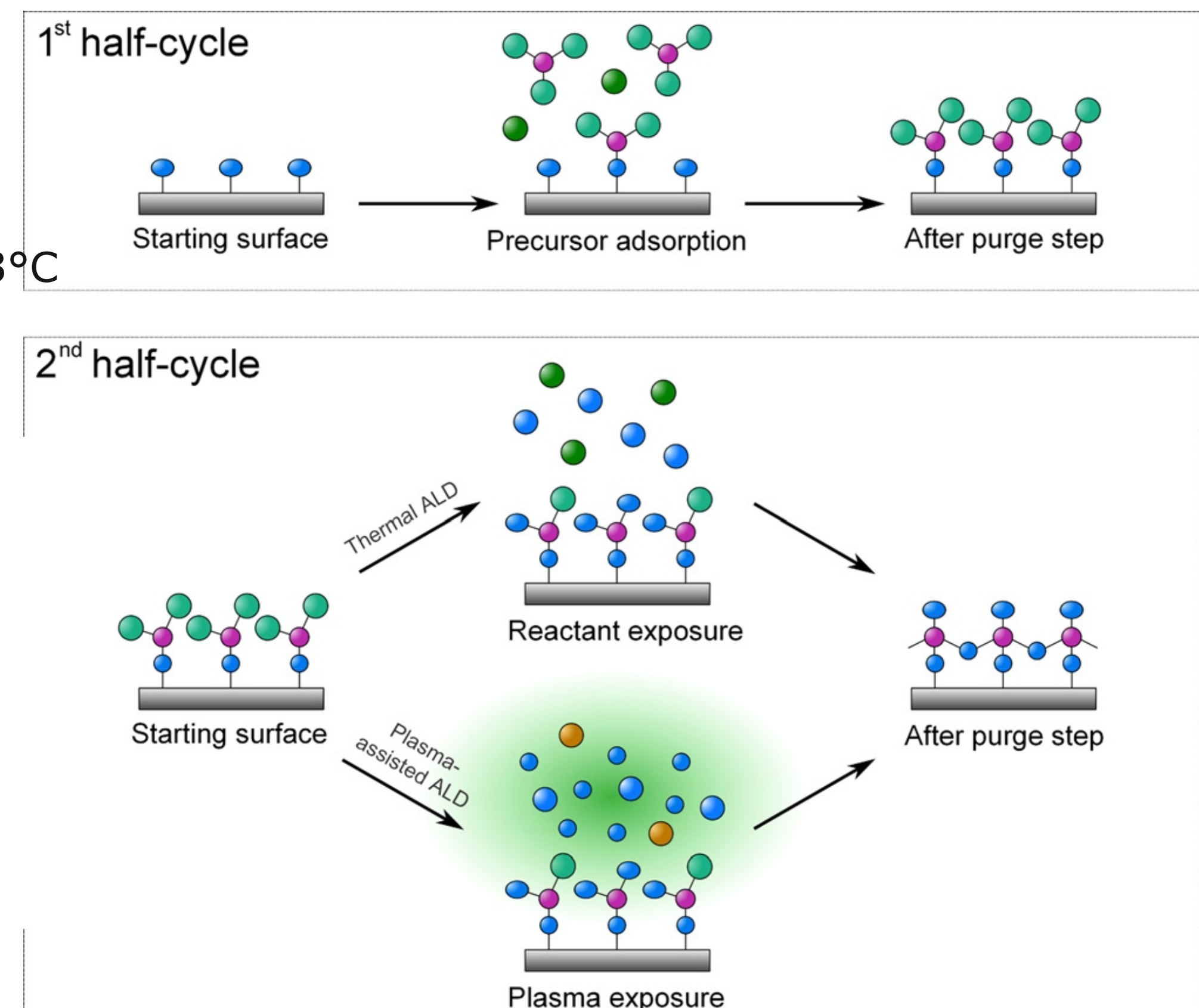
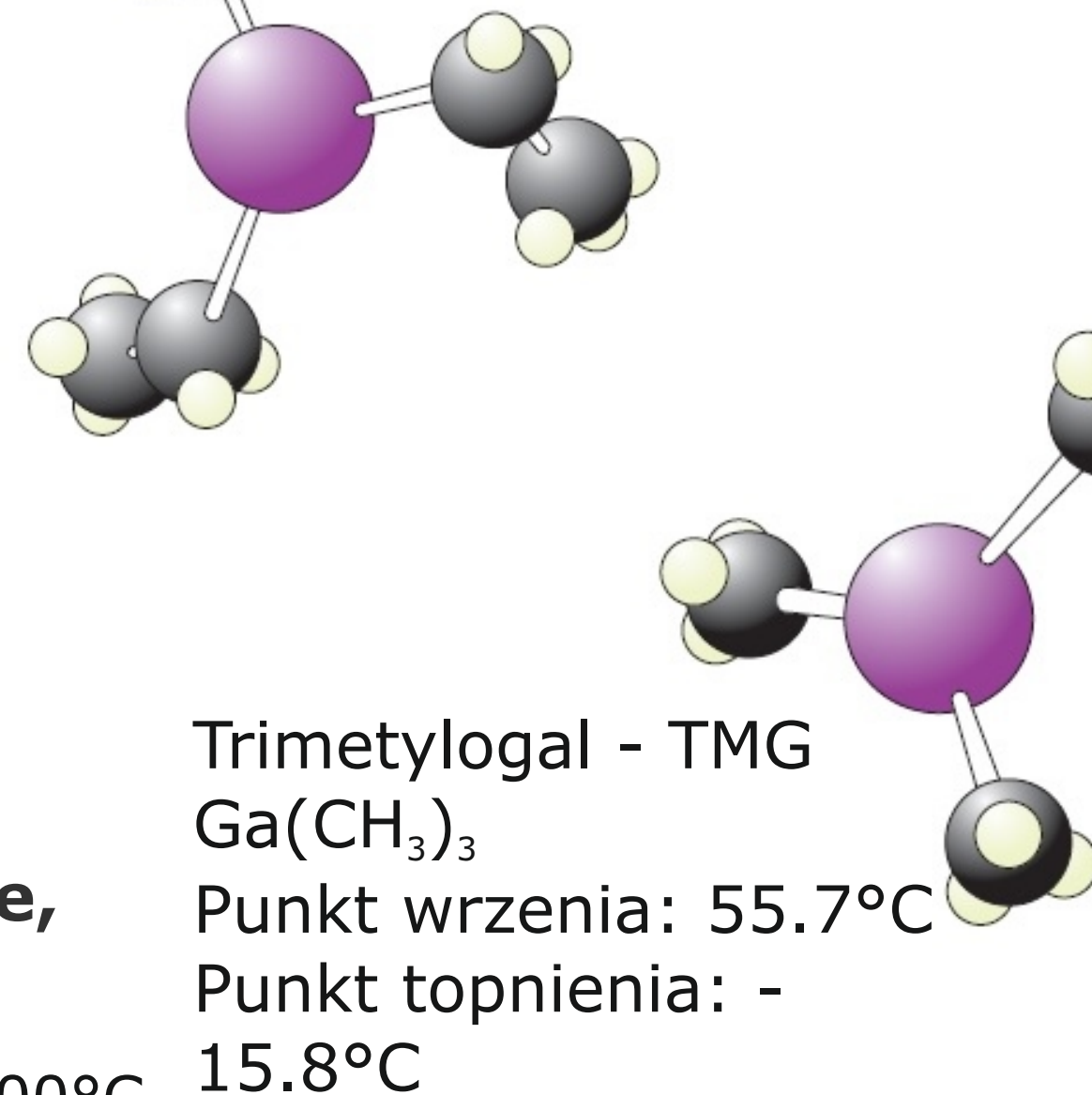
- Szybkość wzrostu NIE jest zależna od jednorodności

Savannah-100 reaktor firmy Ultratech/CNT (Veeco, San Jose,

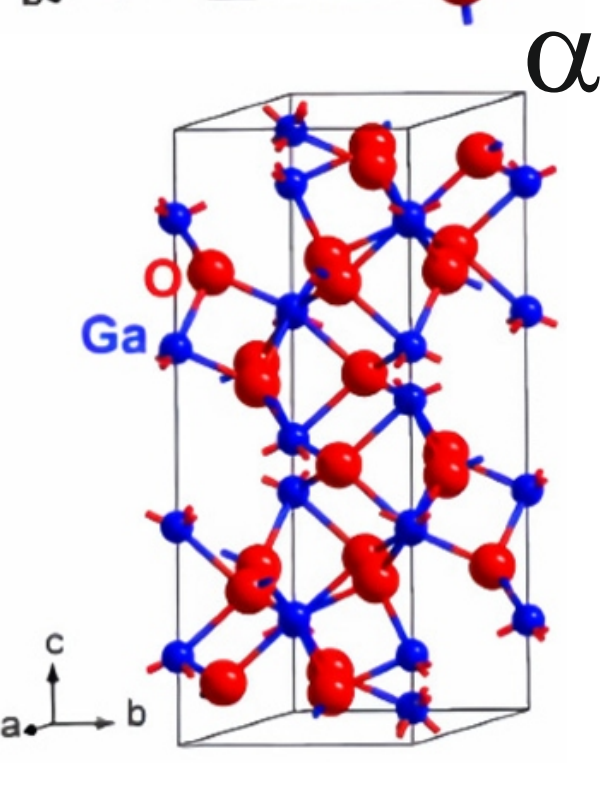
Temperatura wzrostu dla tlenku galu: 280 - 300°C



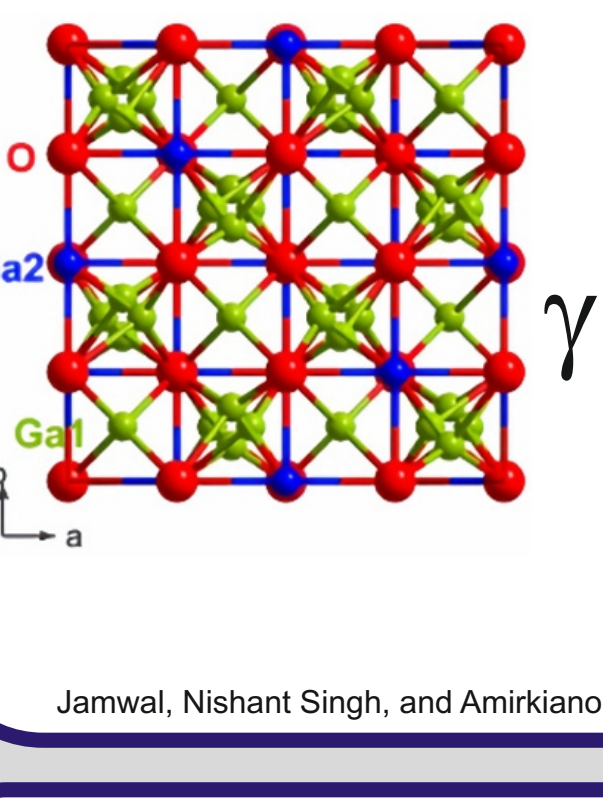
Trietylgal - TEG
 $\text{Ga}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$
Punkt wrzenia: 143°C
Punkt topnienia: -82.3°C



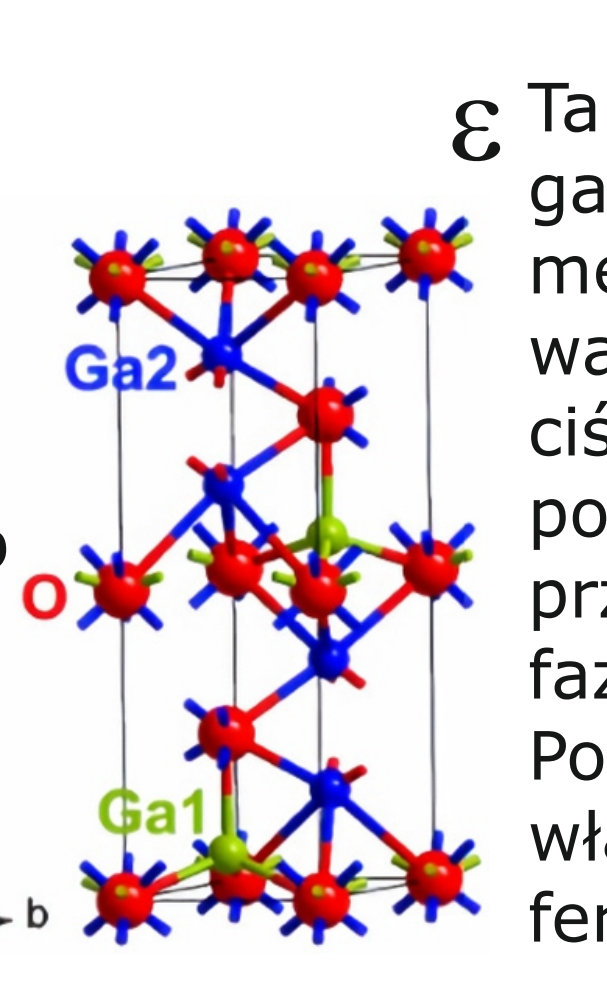
• Jest to substancja najbardziej stabilna ze wszystkich w warunkach otoczenia i wzbudza duże zainteresowanie badaczy. Ma strukturę jednoskośną o parametrach $a = 12,19 \text{ \AA}$, $b = 3,016 \text{ \AA}$, $c = 5,80 \text{ \AA}$ $\beta = 103,70^\circ$



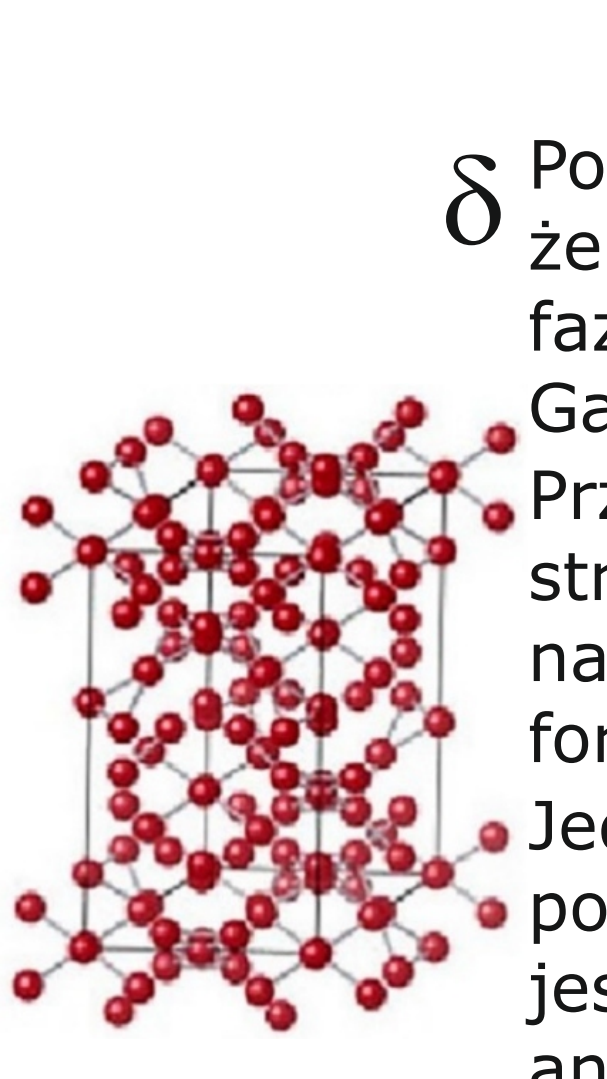
Ta struktura jest inną powszechną strukturą, oprócz tlenku galu beta. Ma strukturę korundu podobną do Al_2O_3 . Tworzenie drobnych kryształów jest trudnym zadaniem. Strukturę α - Ga_2O_3 można utrzymać tylko w temperaturze około 550°C, a powyżej następuje przemiana fazowa do β - Ga_2O_3 .



Przygotowanie tej odmiany polimorficznej jest proste, wymaga jedynie utlenienia galu w aminoalkoholu, np. etanoloaminie.

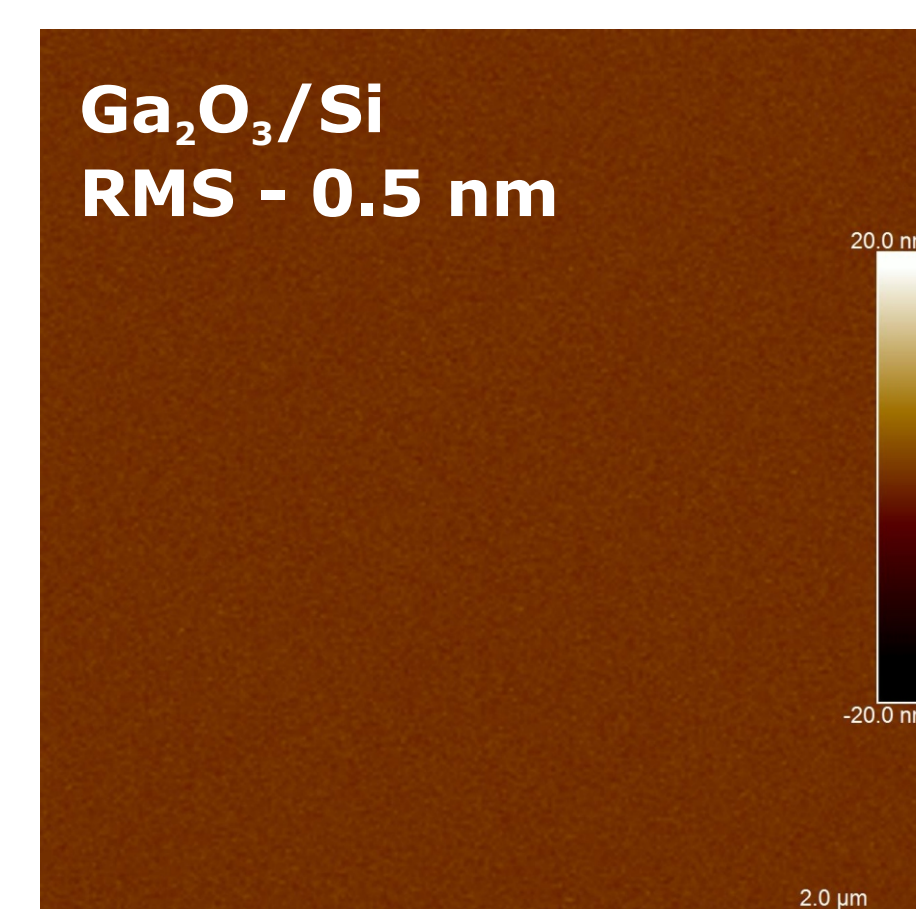
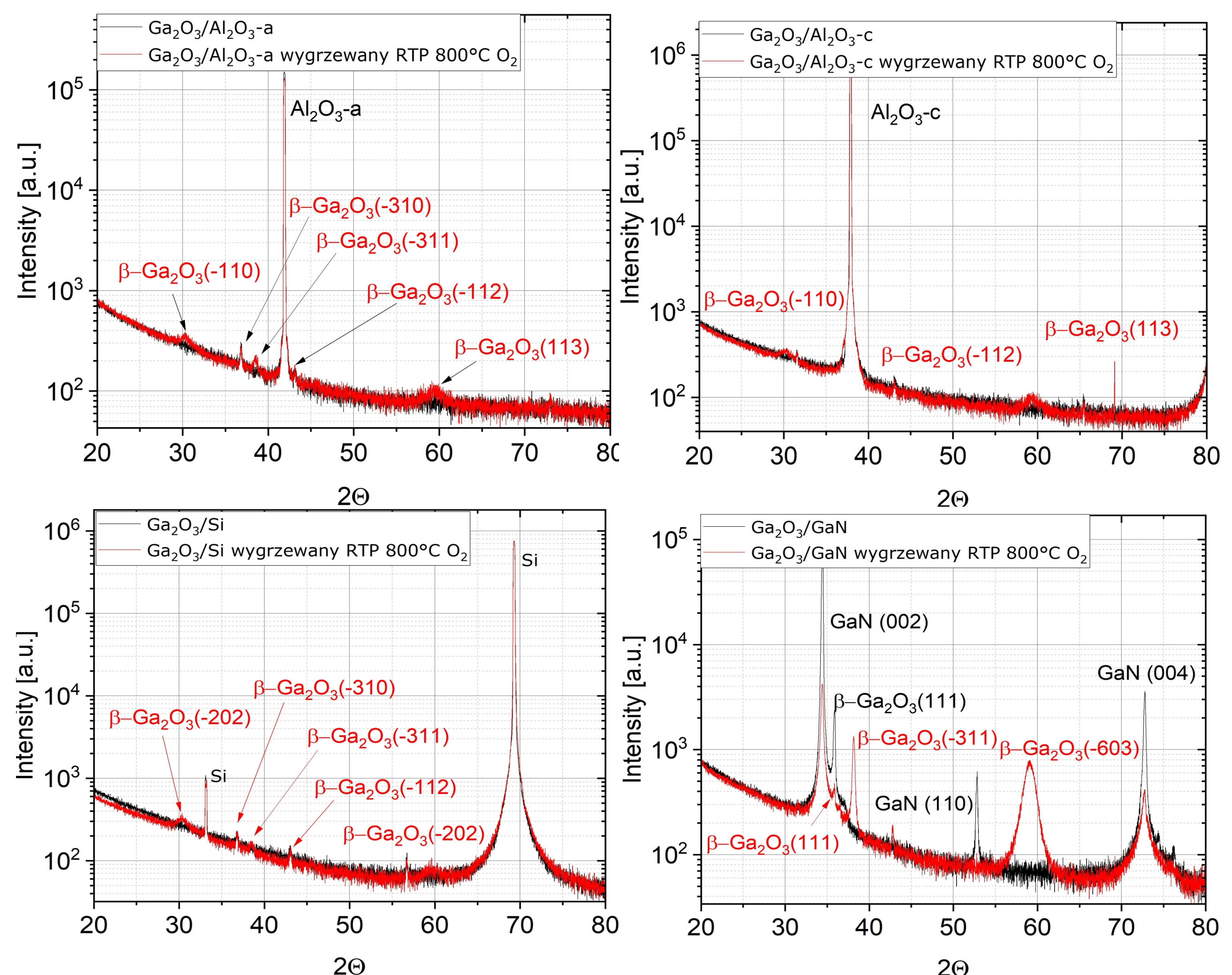


Ta struktura tlenku galu może być metastabilna w warunkach wyższego ciśnienia. Ponadto, po podgrzaniu może przekształcić się w fazy alfa i beta. Ponadto wykazuje właściwości ferroelektryczne.

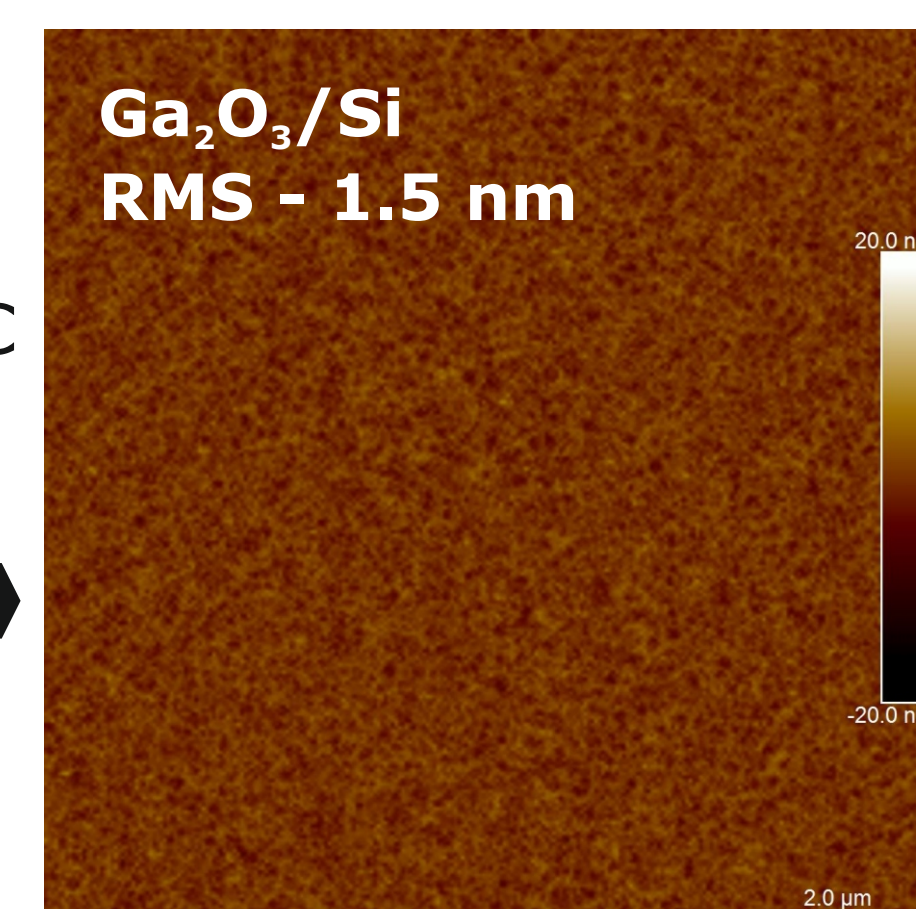


Początkowo sądzono, że ta struktura jest fazą podobną do ϵ - Ga_2O_3 . Przypuszczano, że struktura jest nanokrystaliczną formą ϵ - Ga_2O_3 . Jednak później potwierdzono, że nie jest to nanostruktura ani inna faza, lecz inna struktura sześcienna.

Struktura



RTP 800°C
 O_2



Po procesie wygrzewania warstw Ga_2O_3 nie zaobserwowano zmiany fazy krystalicznej, natomiast warstwy na podłożu Al_2O_3 -a oraz GaN wykazują bardziej uporządkowaną strukturę niż na podłożach Si i Al_2O_3 -c.

Podsumowanie

W niniejszej pracy warstwy Ga_2O_3 uzyskano metodą osadzania warstw atomowych (ALD). Jednorodne warstwy tlenku galu zostały otrzymane przy użyciu dwóch z wymienionych prekursorów: H_2O , O_3 , $\text{C}_3\text{H}_7\text{Ga}$ (TMG), $\text{C}_6\text{H}_{15}\text{Ga}$ (TEG). Warstwy te charakteryzują się bardzo gładką powierzchnią z wartościami RMS wynoszącymi $\sim 0.5 \text{ nm}$ i są amorficzne lub słabo uporządkowane z fazą krystaliczną z rozmiarami ziaren poniżej 10 nm. Warstwy Ga_2O_3 poddane procesowi wygrzewania w O_2 w temperaturze 800°C wykazują bardziej uporządkowaną strukturę krystaliczną z fazą jednoskośną β - Ga_2O_3 i bardziej chropowatą powierzchnią z wartościami RMS $\sim 1.5 \text{ nm}$ niż warstwy niewygrzewane.

Podziękowania

Praca została zrealizowana w ramach projektu międzynarodowego współfinansowanego ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2021-2024; umowa nr 5177/HZDR/2021/0 oraz Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (20002208-ST).