

Abstract of PhD thesis of MSc Marta Sobańska

The aim of the thesis was to analyze the mechanisms of spontaneous nucleation and growth of GaN nanowires on a-Al_xO_y buffer layers by molecular beam epitaxy, and then their comparison with analogous processes reported on nitridated Si substrates (Si_xN/Si). In this way, a general understanding of the growth of GaN nanowires was sought, with particular emphasis on the role of the substrate and its influence on the growth process. To this end, reflection high-energy electron diffraction and quadrupole mass spectrometry were used for *in-situ* monitoring of all growth stages of nanowires on both types of substrates at the same other technological conditions. The experimental results were correlated with studied *ex-situ* morphology of the samples with different growth durations, which allowed to distinguish three stages of nanowires' evolution: (i) incubation preceding the formation of GaN islands, (ii) nucleation and transformation of GaN islands into the nanowire shape and (iii) its further anisotropic growth. Characteristic physical processes for each stage were determined and analyzed. As shown, a-Al_xO_y buffer layers deposited at low temperature by ALD technique offer short incubation times and fast nucleation of GaN nanowires, even at very high temperatures. Also experiments have shown that such buffers allow to overcome the barrier for formation of GaN nanowires on a monocrystalline sapphire, so neither use of a catalyst nor AlN islands forcing nucleation of nanowires are needed. In this way, comprehensive analysis of microscopic mechanisms of nucleation and growth of GaN nanowires by plasma-assisted molecular beam epitaxy on both substrates was presented.

A further significant aim was to determine the influence of the substrate on the properties of nanowires. The results show the importance of the amorphous buffer layer and its microstructure for the spatial arrangement of GaN nanowires on the surface, as well as its impact on their electron and optical properties. As shown, by proper choice of growth conditions, GaN nanowires with excellent structural and optical properties can be obtained on a-Al_xO_y buffer layers. In this way, the results presented in the thesis pave the way to crystallization of high quality GaN nanowires on any substrate, provided it is compatible with technology of molecular beam epitaxy and its surface is covered by a thin a-Al_xO_y buffer layer.

12.04.2017. Sobańska M.

Streszczenie rozprawy doktorskiej mgr Marty Sobańskiej

Celem rozprawy była analiza mechanizmów spontanicznego zarodkowania i wzrostu metodą epitaksji z wiązek molekularnych nanodrutów GaN na warstwach buforowych $a\text{-Al}_x\text{O}_y$, a następnie porównanie z analogicznymi procesami raportowanymi na azotowanych podłożach Si ($\text{Si}_x\text{N}/\text{Si}$). W ten sposób dążono do pogłębienia generalnego zrozumienia zjawiska wzrostu nanodrutów GaN, ze szczególnym naciskiem na rolę podłoża i wpływ jego właściwości na ten proces. W tym celu wykorzystano dyfrakcję wysokoenergetycznych elektronów RHEED i kwadropolową spektrometrię masową QMS do zbadania *in-situ* wszystkich etapów wzrostu nanodrutów na obu typach podłoży przy zachowaniu tych samych pozostałych warunków technologicznych. Uzyskane wyniki doświadczalne zostały skorelowane z analizą *ex-situ* morfologii powierzchni próbek o różnych czasach wzrostu, co pozwoliło wyodrębnić kolejne etapy rozwoju nanodrutów: (i) inkubację poprzedzającą powstawanie wysp GaN, (ii) zarodkowanie i transformację wysp GaN do kształtu nanodrutów oraz (iii) ich dalszy anizotropowy wzrost, z charakterystycznymi dla każdego z etapów procesami fizycznymi. Jak pokazano, warstwy buforowe $a\text{-Al}_x\text{O}_y$ osadzone w niskiej temperaturze metodą ALD oferują krótkie czasy inkubacji i szybkie zarodkowanie nanodrutów GaN, nawet w bardzo wysokich temperaturach. Eksperymenty wykazały, że bufory takie umożliwiają również pokonanie bariery na formowanie nanodrutów GaN na monokrystalicznym szafirze bez konieczności stosowania katalizatora czy wymuszających zarodkowanie wysp AlN. W ten sposób przedstawiono kompleksową analizę porównawczą mikroskopowych mechanizmów zarodkowania i wzrostu nanodrutów GaN techniką epitaksji z wiązek molekularnych z plazmowym źródłem azotu PAMBE na obu podłożach.

Istotnym celem prac było określenie wpływu podłoża na właściwości otrzymywanych nanodrutów. Wyniki przedstawione w rozprawie wskazują kluczowe znaczenie amorficznej warstwy buforowej i jej mikrostruktury dla przestrzennego ułożenia nanodrutów GaN względem powierzchni podłoża, a także ich właściwości elektronowych i optycznych. Jak pokazano, dobierając odpowiednie warunki krystalizacji na warstwach buforowych $a\text{-Al}_x\text{O}_y$ można otrzymać nanodrutu GaN o doskonałych właściwościach strukturalnych i optycznych. W ten sposób wyniki rozprawy otwierają drogę do wytwarzania wysokiej jakości nanodrutów GaN na dowolnym podłożu, o ile tylko jest ono kompatybilne z technologią epitaksji z wiązek molekularnych i osadzono na nim cienką warstwę buforową $a\text{-Al}_x\text{O}_y$.

12.04.2017, Sobańska M.