

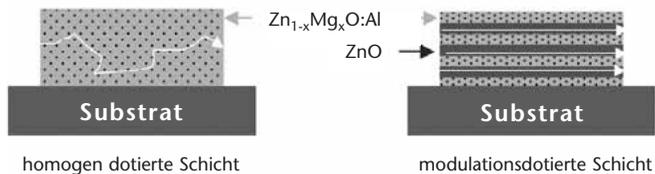
Strukturelle und elektrische Untersuchungen von modulationsdotierten ZnO/Zn_{1-x}Mg_xO:Al-Schichten

G. Vollweiler
T. Glatzel
K. Ellmer

HMI
vollweiler@hmi.de

Die Leitfähigkeit von hochdotiertem ZnO wird durch die Streuung der Ladungsträger an ionisierten Störstellen und die damit verbundene geringe Beweglichkeit begrenzt. Ursache ist die homogene Verteilung der Dotandenatome im Halbleiter, die gleichzeitig ionische Störstellen bilden [1]. Das Konzept der Modulationsdotierung basiert auf der Idee, ein System herzustellen, das sich aus kleinen, benachbarten Domänen von dotiertem und undotiertem ZnO zusammensetzt, eine sogenannte modulationsdotierte Struktur. Ladungsträger aus den dotierten Bereichen würden in solch einer Struktur in die benachbarten undotierten Bereiche diffundieren, in denen aufgrund der geringeren Störstellenkonzentration eine größere Beweglichkeit zu erwarten ist [2]. Für ZnO könnte auf diese Weise größenordnungsmäßig eine Verbesserung der spezifischen Leitfähigkeit um den Faktor 2 bis 5 erwartet werden.

Abbildung 1
Prinzip der Modulationsdotierung: Trennung von Dotierungs- und Transportfunktion. Die weißen Pfade stellen schematisch den Weg der Elektronen mit (links) und ohne (rechts) Streuung dar.



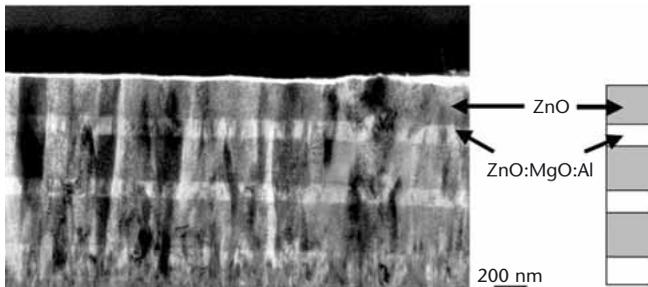


Abbildung 2

TEM-Querschnittsaufnahme einer modulationsdotierten ZnO-Schicht auf Glas: Es sind keine auf die Modulation zurückzuführenden mikrostrukturellen Unregelmäßigkeiten erkennbar.

Simulationsrechnungen [3] des Bandverlaufs und der Ladungsträgerverteilung in einer modulationsdotierten Schicht ergaben, dass für einen merklichen Effekt folgende Voraussetzungen erfüllt sein müssen:

- Die Elektronenaffinität der undotierten Teilschichten sollte etwa 100 meV höher sein, als die der dotierten Teilschichten.
- Die Dicke der Teilschichten sollte im Bereich weniger Nanometer liegen, da nur in den grenznahen Bereichen ein Ladungstransfer zu erwarten ist.

ZnO/Zn_{1-x}Mg_xO:Al-Multi-Schichtsysteme wurden durch Magnetron-Sputtern von keramischen Targets auf unterschiedlich orientiertem einkristallinem Saphir und auf Glas hergestellt. Die Dicke der Teilschichten wurde von 3 bis 200 nm variiert. Mittels Röntgenstrukturanalyse wurde nachgewiesen, dass die Schichten in Abhängigkeit vom Substrat epitaktisch (je nach Saphir-Substratorientierung mit unterschiedlicher Orientierung) oder polykristallin (auf Glas) aufwachsen. TEM-Aufnahmen zeigten an den Teilschichtübergängen keine strukturellen Störungen, die auf die Modulation zurückzuführen wären.

Die chemische Modulation wurde durch SIMS-Tiefenprofile nachgewiesen. Eine Korrelation zwischen chemischer Modulation und Austrittsarbeit wurde durch Kelvin Probe Force Microscopy (KPFM)-Messungen belegt. Abhängig von der Dicke der Teilschichten wurden spezifische Widerstände von bis zu $2.2 \cdot 10^{-3}$ cm und Beweglichkeiten bis zu $15 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ gemessen. Diese Werte stellen noch keine Verbesserung gegenüber ZnO:Al-Einzelschichten dar und damit auch noch keinen Hinweis auf den angestrebten Modulationseffekt. Auffällig ist, dass insbesondere bei kleinen Teilschichtdicken ($< 20 \text{ nm}$) eine sehr starke Streuung der spezifischen Widerstände bis hinauf zu 5 Ocm auftritt. Bei reduziertem O_2 -Gehalt in der Sputteratmosphäre lassen sich die niedrigsten Widerstände (ca. $2 \cdot 10^{-3} \text{ Ocm}$) einstellen. Das weist auf die starke Beeinflussung der dünnen Einzelschichten durch Oxidation hin. Hier setzen die zukünftigen Arbeiten an, um die Beweglichkeit weiter zu erhöhen und den Modulationseffekt nachzuweisen.

Literatur

- [1] K. Ellmer, J. Phys.D: Appl. Phys. 34 (2001) 3097.
- [2] R. Dingle, H.-L. Störmer, A.C. Gossard und W. Wiegmann, Appl. Phys. Lett. 33 (1978) 665.
- [3] M. Burgelman, Thin Solid Films 361 (2000) 527.