

microstrain) should be proportional to the density of the lamellas (Fig. 4). Ultimate tensile stress (UTS) is roughly proportional to the weighted average of the pearlite and ferrite strength. The strength of the pearlite is inversely proportional to its interlamellar spacing (1), thus even UTS should be proportional to the density of lamellas, moreover to the squared dislocation microstrain (Fig. 5).

References

1. R. F. Mehl, W. C. Hagel, *Progress in Metal Physics* **6**, (1956), pp. 74-134.
2. L. M. Brown & R. K. Ham, in *Strengthening Methods in Crystals*, edited by A. Kelly & R. B. Nicholson, London, 1971, p. 12.
3. K. K. Ray, D. Mondal, *Acta Metall. Mater.* **39**, (1991), pp. 2201-2208.
4. A. M. Elwazri, P. Wanjara, S. Yue, *Mat. Sci. Eng. A* **404**, (2005), pp. 91-98.
5. S. Allain, O. Bouaziz, *Mat. Sci. Eng. A* **496**, (2008), pp. 329-336.
6. D. Šimek, D. Rafaja, M. Motylenko, V. Klemm, G. Schreiber, A. Brethfeld, G. Lehmann, *Steel Research Int.* **79**, (2008), pp. 800-806.
7. T. Ungár, I. Dragomir, Á. Révész, A. Borbély, *J. Appl. Cryst.* **32**, (1999), pp. 992-1002.

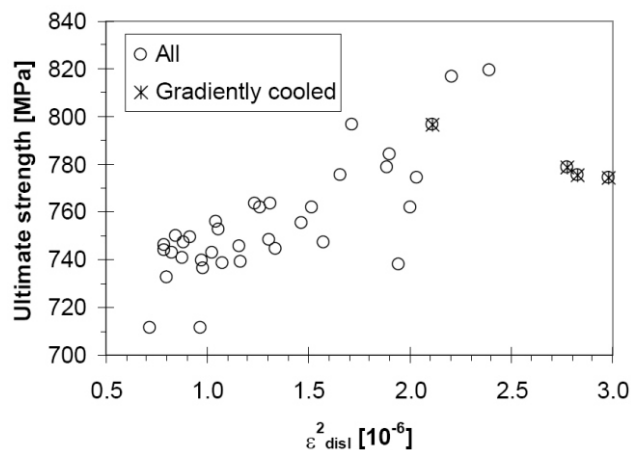


Figure 5. Correlation of ultimate tensile stress and dislocation originated squared microstrain.

8. J. Ohser & U. Lorz, in *Freiberger Forschungshefte B* **276**, Technischer Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, Stuttgart, 1994, p. 104.

Acknowledgements

The authors also wish to thank to the German Scientific Council (DFG) for supporting the project #RA 1050/10 in frame of the priority programme SPP 1204.

SL15

SiGe products prepared by CVD from different precursors

SiGe PRODUKTY PŘIPRAVENÉ METODOU CVD Z RŮZNÝCH PREKURZORŮ

M. Klementová^{1,3}, V. Dřínek², L. Palatinus¹, M. Rieder⁴

¹Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i., Cukrovarnická 10, 162 00 Praha, Česká republika

²Ústav chemických procesů AV ČR, v.v.i., Rozvojová 135, 165 02 Praha

³Ústav anorganické chemie AV ČR, v.v.i., 250 68 Husinec-Řež, Česká republika

⁴Česká geologická služba, Geologická 6, 150 00 Praha 5, Česká republika
klemari@fzu.cz

Úvod

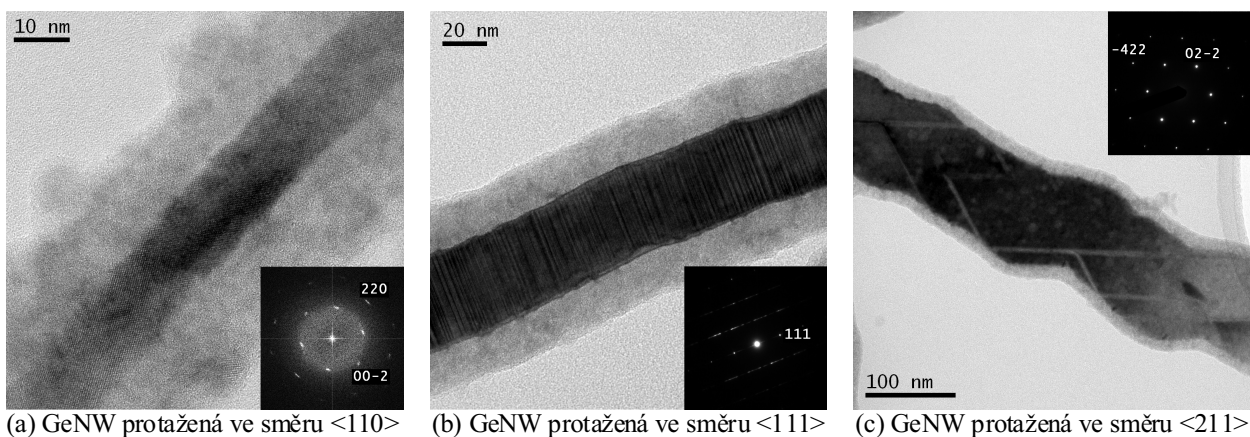
Nanomateriály jsou v současné době středem zájmu pro svoje specifické chemické a fyzikální vlastnosti, které se díky jejich velikosti liší od vlastností ekvivalentních fází ve velkém objemu. V mikroelektronice jsou velice žádané nanoobjekty vyrobené z polovodičů, křemíku a germania, případně jejich kombinací ve např. ve formě strukturovaných nanovláken či slitiny SiGe. Přítomnost germania umožňuje rychlejší přenos informace v integrovaných obvodech vzhledem k jeho vyšší elektronové mobilitě ve srovnání s křemíkem (Ge - 3900 cm²/V.s; Si - 1500 cm²/V.s).

Metoda CVD (Chemical Vapour Deposition) je běžná technika pro přípravu nanoobjektů (nanovláken, nanotrubiček, nanodestiček atd.). Využívá prekurzory, jejichž páry jsou vedeny do vyhřívaného reaktoru, kde jsou pyrolyticky dekomponovány za vzniku pevných produktů.

Metody

Vzorky byly připraveny pyrolýzou prekurzorů za použití techniky LPCVD (Low Pressure Chemical Vapour Deposition). Byly použity dva rozdílné prekurzory a jim odpovídající nastavení aparatury. Vzorky připravené pyrolýzou tris(trimethylsilyl)germanu (Si(CH₃)₃)₃GeH byly deponovány na tantalovou podložku při teplotě 365 °C po dobu 90 minut. Pyrolitická aparatura pracovala v průtočném módu při tlaku 90 – 100 Pa. Vzorky připravené pyrolýzou hexamethyldigermanu Ge₂(CH₃)₆ společně s ethylsilanem (C₂H₅)SiH₃ byly deponovány na měděnou podložku při teplotě 500 °C po dobu 70 minut. Pyrolitická aparatura pracovala v průtočném módu při celkovém tlaku 180 Pa, z čehož bylo 110 Pa Ge₂(CH₃)₆ a 70 Pa (C₂H₅)SiH₃.

Vzorky byly studovány elektronovou mikroskopií (SEM, TEM, HRTEM) a elektronovou difrakcí (SAED, PED).



Obrázek 1. TEM pozorování obalených nanovláken germania (GeNW). Vložené obrázky demonstrují elektronovou difrakci z příslušných nanovláken.

Výsledky

Prekurzor tris(trimethylsilyl)german ($\text{Si}(\text{CH}_3)_3\text{GeH}$)

Vzorky připravené z prekurzoru tris(trimethylsilyl) germanu ($\text{Si}(\text{CH}_3)_3\text{GeH}$) obsahují nanovláčka o průměru desítek nanometrů a délce až několika mikrometrů [1]. Nanovláčka vykazují vnitřní strukturu skládající se z jádra o průměru 10 až 30 nm a obalu o tloušťce 10 až 50 nm (Obr. 1a). Jádro je tvořeno monokrystalickým germaniem, zatímco amorfni Si/SiC obal obsahuje nanočástice germania o velikosti cca 5 nm.

Byly pozorovány tři typy nanovláken podle směru protažení (růstu) monokrystalového jádra: n, o, Š (Obr 1). Nejčastěji se vyskytovala vlákna protažená ve směru n, která neobsahují žádné strukturální poruchy (Obr. 1a). Méně častá byla vlákna protažená ve směru <111>, ve kterých byl pozorován nepravidelný klad vrstev (111) či dvojčatění podle {111} (Obr. 1b). Dále byl v tomto typu vláken zjištěn čtyřvrstevný hexagonální polytyp germania s kladem vrstev ABCB (kubická struktura má klad ABC) ve směru protažení vláken. Ve vláknech protažených ve směru <211> byly pozorovány lamely dokladující dvojčatění podle {211}.

Prekurzor hexamethyldigerman $\text{Ge}_2(\text{CH}_3)_6$ a ethylsilan $(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{SiH}_3$

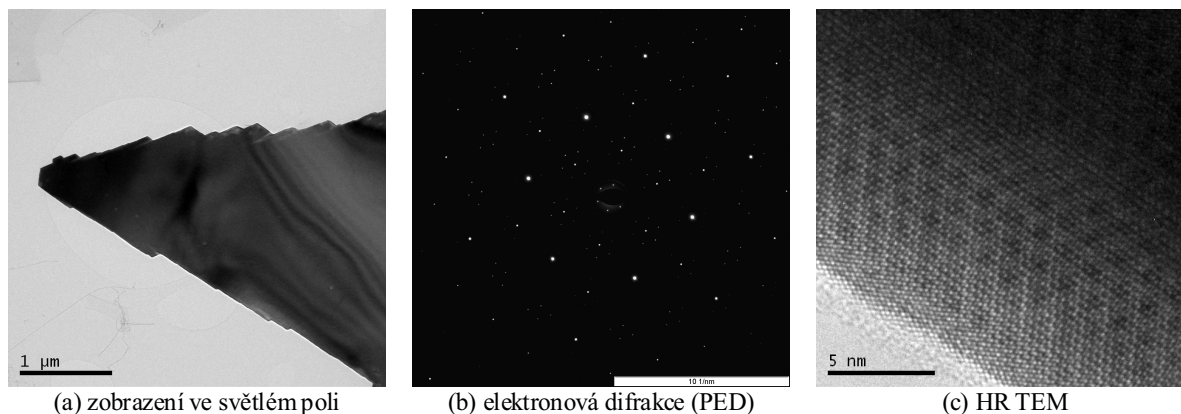
Vzorky připravené z kombinace prekurzorů hexamethyldigermanu $\text{Ge}_2(\text{CH}_3)_6$ a ethylsilanu $(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{SiH}_3$ obsahují shluky lístečkovitých krystalů SiGe a SiGe nanovláčka. Tvary lístečkovitých krystalů jsou v průmětu hexagonální, často protažené do listovitých čepelí. Krystaly mají velikost několika mikrometrů, ale jsou velice tenké. Jejich tloušťka je pouhých 40 nm. Lístky jsou zploštěny ve směru podle {111} kubické struktury křemíku (Obr. 2). Nanovláčka mají tloušťku kolem 10 nm a délku několik mikrometrů. Jedná se o monokrystaly protažené ve směru <111>, bez jakýchkoli defektů. Vlákna podléhají okamžité oxidaci na vzduchu, o čemž svědčí amorfni obal tvořený oxidy germania.

Předběžné výsledky studia pomocí elektronové difrakce indikují, že struktura nanolístků je superstruktura diamantového strukturálního typu s nižší symetrií než kubickou. Na Obr. 2 lze pozorovat satelitní stopy způsobené strukturálními modulacemi.

1. Drinek, V. et al., *Nanotechnology*, **20(3)**, (2009), Art. No. 035606.

Poděkování

Výzkum byl podporován grantovou agenturou GAČR (projekt 203/09/1088) a výzkumným záměrem AVČR (AV0Z40320502).



Obrázek 2. TEM pozorování nanolístků SiGe.