

Określenie koncentracji jonów Ga^{3+} w cienkich warstwach magnetycznych granatów

WSTĘP

Metoda epitaksji z fazy ciekłej (LPE) magnetycznych granatów, mimo jej niewątpliwych zalet w porównaniu z innymi metodami otrzymywania warstw granatów (CVD, hydrotermiczna), kryje w sobie szereg niedogodności utrudniających wzrost warstw o założonym składzie i parametrach.

Szeroki przedział przechłodeń i prędkości wzrostu z jakimi mogą rosnąć warstwy mieszanych granatów pozornie jest tylko zaletą tej technologii.

Stosowanie topnika $PbO-B_2O_3$ powoduje, że:

1. Stosunek tlenków tworzących fazę granatu jest w roztworze niestechiometryczny.
2. Występują efekty segregacji w zależności od temperatury i prędkości wzrostu. Szczególnie silne efekty obserwuje się dla jonów Ga.

Te właśnie cechy w połączeniu z możliwością uzyskiwania dużych przechłodeń (przesycień) do kilkudziesięciu $^{\circ}C$ decydują o radykalnych zmianach parametrów warstw otrzymywanych z tego samego roztworu.

Znajomość składu warstwy jest zatem istotnym fragmentem badań określających zależność między warunkami procesu epitaksji a właściwościami warstw.

Chcąc otrzymać warstwy o stosunkowo niskiej wartości namagnesowania $\mu_0 M$ i odpowiedniej wartości współczynnika jakości $q = 2K_u / \mu_0 M^2 > 1,1$ należy część jonów Fe^{3+} zastąpić jonami diamagnetycznymi Ga^{3+} , Al^{3+} , Si^{4+} czy Ge^{4+} .

Zmiana $\mu_0 M$ i temperatury Curie T_c w zależności od ilości jonów diamagnetycznych w komórce granatu umożliwia właśnie stosunkowo prostą metodę oznaczania ich zawartości poprzez pomiar T_c . Natomiast silny efekt zmian $\mu_0 M$ i T_c w funkcji temperatury i prędkości wzrostu warstw pozwala na określenie wartości współczynnika segregacji Ga.

Przedmiotem badań były warstwy magnetycznych granatów o składach $(YEu)_3(FeGa)_5O_{12}$ i $(YSm)_3(FeGa)_5O_{12}$.

Przedstawione wyniki i prostota metody czynią ją, oczywiście tylko w rozważanym aspekcie, porównywalną z innymi, nieniszczącymi metodami analizy składów.

1. ANALIZA TEMPERATUROWEJ ZALEŻNOŚCI $\mu_0 M$ MIESZANYCH GRANATÓW

Zależność namagnesowania od temperatury przy niskim poziomie podstawienia diamagnetycznymi jonami jonów Fe^{3+} w kryształ granatu opisanego wzorem $Y_3Fe_{2-y}Q_yFe_{3-z}Q_zO_{12}$ może być z powodzeniem opisana modelem dwóch podsięci Neela, ściślej jego zmodyfikowaną przez Dionne'a postacią [1]. Q_z i Q_y oznacza diamagnetyczne jony w tetraedrycznych i oktaedrycznych położeniach. Model zgadza się z eksperymentem dla koncentracji $y \leq 0,7$ i $z \leq 2$.

Określenie przez Dionne'a wpływu podstawienia diamagnetycznych jonów na współczynniki pola molekularnego umożliwia obliczenie wartości $\mu_0 M$ w funkcji temperatury przy danej koncentracji tych jonów.

Dla ferrimagnetyków zależność temperaturową momentu magnetycznego M danej podsięci przedstawia równanie (1).

$$M_i(T) = M_i(O) B_j \quad (1)$$

gdzie $M_i(O)$ jest momentem magnetycznym i -tej podsięci w temperaturze O K, $B_j(Y_i)$ funkcją Brillouina, której argument Y_i jest funkcją zależną od temperatury i zawierającą współczynniki pola molekularnego reprezentujące oddziaływania między i -tą i j -tą podsięciami oraz oddziaływania wymienne w danej podsięci. W granatach żelazowych ziem rzadkich mających trzy podsięci; a - oktaedryczną, d - tetraedryczną i c - dodekaedryczną moment magnetyczny na mol (namagnesowanie) dany jest wyrażeniem (2).

$$M(T) = M_a(T) - M_d(T) + M_c(T) \quad (2)$$

W temperaturze zera bezwzględne namagnesowanie podsięci a i d w granacie $Y_3Fe_{2-y}Q_yFe_{3-z}Q_zO_{12}$ można opisać zależnością będącą funkcją y i z . Również współczynniki pola molekularnego N_{ij} zmieniają się z koncentracją diamagnetycznych jonów. Współczynniki N_{aa} , N_{dd} i $N_{ad} = N_{da}$ są niezależne od rodzaju jonu ziemi rzadkiej w pozycji dodekaedrycznej.

Dla każdego granatu $R_3Fe_5O_{12}$ należy uwzględnić jeszcze podsięć c i jej oddziaływanie z podsięciami a i d , czyli określić $M_c(T)$ z wyrażenia (1). R jest jony ziemi rzadkiej od Sm do Lu .

Brandle i Blank wykorzystując dane Dionne'a dla $Cd_3Fe_5O_{12}$ i $Y_3Fe_5O_{12}$ (YIG) rozszerzyli obliczenia współczynników N_{ij} na wszystkie pozostałe granaty

żelazowe ziem rzadkich, co umożliwi obliczenie zależności $\mu_0 M$ od T dla mieszanych, podstawionych jonami Ga granatów [2].

Ze względu na składy badanych warstw interesujące są jedynie przebiegi $\mu_0 M$ z temperaturą dla granatów o składzie $\text{Eu}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ (EuIG) i $\text{Sm}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ (SmIG). Kryształy te nie mają punktu kompensacji. Moment magnetyczny jonu Sm^{3+} jest sprzężony równoległe z momentem wypadkowym [3]. Natomiast moment jonu Eu^{3+} jest indukowany jedynie oddziaływaniem z jonami Fe [4].

Z tego też względu krzywe magnetyzacji w zależności od T dla granatów SmIG i EuIG mogą być reprezentowane przez odpowiednio zmodyfikowaną krzywą $\mu_0 M(T)$ dla YIG [2].

Dla SmIG zmiana ta sprowadza się do mnożenia przez stały czynnik, czyli

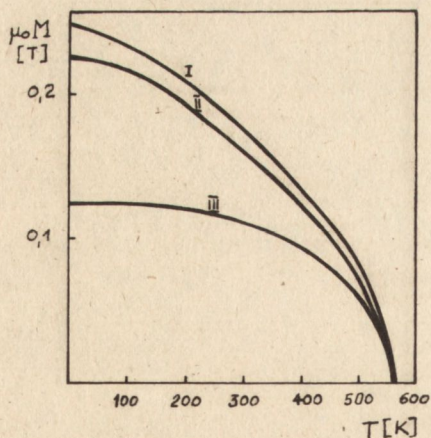
$$M_{\text{SmIG}}(T) = 0,94 M_{\text{YIG}}(T) \quad (3)$$

Dla EuIG czynnik ten jest funkcją temperatury dla $T \gg 100$ K

$$M_{\text{EuIG}}(T) = (0,000645 T + 0,4538) M_{\text{YIG}}(T), \quad (4)$$

$$\text{poniżej } 100 \text{ K } M_{\text{EuIG}}(T) = 0,518 M_{\text{YIG}}(T) \quad (5)$$

Przebieg $\mu_0 M$ w zależności od T dla YIG, SmIG i EuIG ilustruje rysunek 1.



Rys. 1. Namagnesowanie w zależności od temperatury dla granatów o składach: I - $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$, II - $\text{Sm}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$, III - $\text{Eu}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$

Doświadczalne temperatury Curie tych trzech granatów są prawie takie same. Niemal jednakowe temperatury Curie świadczą, że sprzężenie wymienne między jonami ziem rzadkich i jonami Fe jest słabe i na T_c wpływa jedynie oddziaływanie między jonami Fe.

Znajomość $\mu_o M$ w funkcji T dla poszczególnych granatów umożliwia następny krok, czyli obliczenie krzywych namagnesowania w funkcji T dla mieszanych granatów tj. takich, które zawierają więcej niż jeden rodzaj jonów ziem rzadkich (włączając Y) w położeniach dodekaedrycznych.

Najprostsze podejście wykorzystuje założenie, że wkład poszczególnych granatów do całkowitego momentu magnetycznego mieszanego granatu jest proporcjonalny do ich molowej frakcji v_i [2]. Dla granatów $Y_{v_1} R_{v_2} Fe_5 O_{12}$, gdzie $R = Eu$ lub Sm oraz $v_1 + v_2 = 3$, namagnesowanie może być wyrażone przez sumę indywidualnych wkładów poszczególnych granatów tj.

$$\mu_o M(T) = \mu_o \sum_i v_i f_i M_{YIG}(T) \quad (6)$$

przy czym $f_Y = 1$, $f_{Sm} = 0,94$ i $f_{Eu} = 0,000645 T + 0,4538$ dla $T \geq 100$ K.

W przypadku warstw o składzie $Y_{3-v} Eu_v Fe_{5-x} Ga_x C_{12}$ i $Y_{3-v} Sm_v Fe_{5-x} Ga_x O_{12}$ ich momenty magnetyczne związane są z momentem $Y_3 Fe_{5-x} Ga_x C_{12}$ wyrażeniem:

$$M(T)_{Y_{3-v} R_v Fe_{5-x} Ga_x O_{12}} = \sum_v v_i f_i M(T)_{Y_3 Fe_{5-x} Ga_x O_{12}} \quad (7)$$

Zmierzone wartości $\mu_o M$ oraz T_c w zależności od koncentracji Ga w monokryształach $Y_3 Fe_{5-x} Ga_x O_{12}$ przedstawiają Hansen i współpracownicy [5] oraz Görnert i D'Ambly [6]. Eksperymentalne wyniki Hansena wykorzystane zostały do określenia zawartości Ga w badanych warstwach.

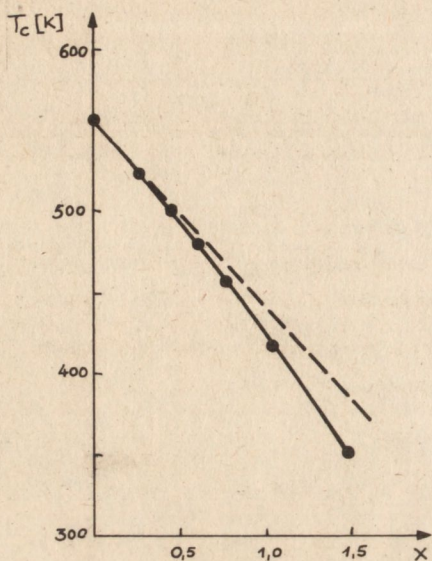
Ilustracją zmian $\mu_o M$ w temperaturze pokojowej (295 K) w funkcji x jest rysunek 2 [5]. Na rysunku 3 przedstawiono T_c w zależności od x dla tego samego kryształu $Y_3 Fe_{5-x} Ga_x O_{12}$ [5].

Należy zwrócić uwagę, że z rysunków 2 i 3 wynikają dwie istotne informacje, do których wrócimy krótko w dalszej części:

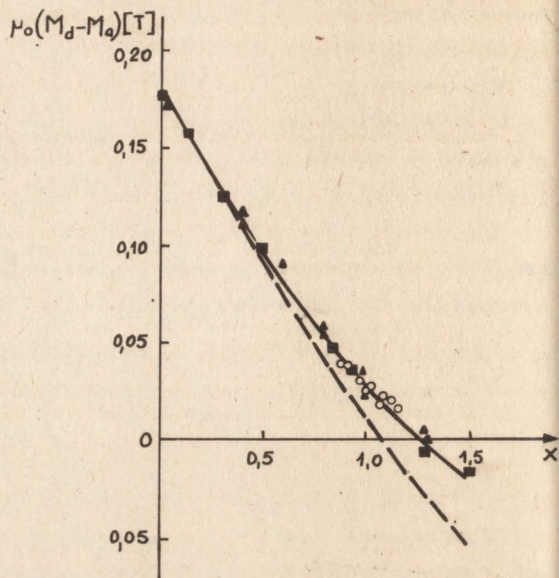
1. W podstawionym jonami Ga^{3+} granacie $Y_3 Fe_{2-y} Ga_y Fe_{3-z} Ga_z O_{12}$ ($x = y + z$) pojawia się punkt kompensacji będący funkcją x .

2. Jony Ga^{3+} wchodzą zgodnie z odpowiednim rozkładem zarówno w pozycje a jak i d. Krzywe przerywane reprezentujące czysto tetraedryczne podstawienie różnią się zasadniczo od obserwacji eksperymentalnych.

Podstawienie części jonów Y^{3+} jonami Eu^{3+} lub Sm^{3+} w granacie $Y_3 Fe_{5-x} Ga_x O_{12}$ nie ma wpływu na temperaturę Curie, co dowodzi zasadności koncepcji wyznaczania zawartości Ga z pomiarów T_c .



Rys. 2. T_c w funkcji x dla $Y_3Fe_{5-x}Ga_xO_{12}$ wg Hansena [5]



Rys. 3. Namagnesowanie $Y_3Fe_{5-x}Ga_xO_{12}$ w funkcji x dla $T = 295$ K ■ - [5] ▲ - [7,8,9,10] ○ - obliczone z wzoru 7

2. EPITAKSJA WARSTW

Warstwy magnetycznych granatów otrzymano w procesie izotermicznego wzrostu z przezchłodzonego roztworu. Epitaksja z fazy ciekłej warstw magnetycznych granatów metodą zanurzeniową zaproponowana przez Levinsteina i innych [11] jest w chwili obecnej wszechstronnie omówiona w literaturze.

Wyjściowe proporcje poszczególnych tlenków zostały tak wybrane, aby temperatury nasycenia roztworów mieściły się w granicach $940 - 1000^\circ\text{C}$.

Jako podłoża do epitaksji stosowano płytki $Gd_3Ga_5O_{12}/GGG/$ o orientacji $\langle 111 \rangle \pm 1^\circ$ wycięte z kryształów otrzymywanych w ITME.

Do określenia charakteru roztworu i krystalizującej z niego fazy wykorzystana została metoda współczynników molowych R_i przedstawiona przez Blanka i Nielsena w pracy [12]. Współczynniki R_i określają stosunki koncentracji (w molach) poszczególnych tlenków w wyjściowym składzie. Dla dalszych rozważań istotne jest jedynie zdefiniowanie R_2 i R_5 -

$$R_2 = \frac{Fe_2O_3}{Ga_2O_3} \quad R_5 = \frac{Y_2O_3}{R_2O_3}$$

gdzie $R_2O_3 = Eu_2O_3$ lub Sm_2O_3 . Wartości tych współczynników przedstawiono w tabeli I.

Składy warstw	f [$\mu\text{m}/\text{min}$]	T_c [K]	x	$\mu_o M_r$ [T]	α_{Ga}	T_{nas} [$^{\circ}\text{C}$]	R_2	R_5
1. $\text{Y}_{2,4}\text{Eu}_{0,6}\text{Fe}_{5-x}\text{Ga}_x\text{O}_{12}$	0,98	442	0,87	0,0351	1,65	950	8,5	4
	0,64	436	0,92	0,0345	1,74			
	0,55	434	0,94	0,0339	1,78			
	0,36	430	0,96	0,0254	1,82			
2. $\text{Y}_{2,4}\text{Eu}_{0,6}\text{Fe}_{5-x}\text{Ga}_x\text{O}_{12}$	1,20	417	1,04	0,0234	1,76	965	7,5	4
	0,66	415	1,06	0,0221	1,80			
	0,58	413	1,07	0,0200	1,82			
	0,18	406	1,15	0,0178	1,94			
3. $\text{Y}_{2,4}\text{Eu}_{0,6}\text{Fe}_{5-x}\text{Ga}_x\text{O}_{12}$	0,57	417	1,04	0,0196	1,76	950	7,5	4
	0,47	416	1,05	0,0210	1,78			
	0,44	413	1,07	0,0189	1,81			
	0,35	412	1,08	0,0170	1,83			
	0,25	410	1,09	0,0163	1,95			
4. $\text{Y}_{2,6}\text{Sm}_{0,6}\text{Fe}_{5-x}\text{Ga}_x\text{O}_{12}$	0,72	417	1,03	0,0264	1,66	945	7,06	5,18
	0,66	416	1,05	0,0245	1,69			
	0,49	413	1,07	0,0240	1,72			
	0,24	407	1,12	0,0206	1,80			
	0,20	405	1,13	0,0190	1,82			
	0,07	398	1,18	0,0150	1,90			

3. POMIARY TEMPERATURY CURIE

Temperatury Curie warstw magnetycznych granatów wyznaczano przy użyciu histerezografu magnetoptycznego z wykorzystaniem efektu Faradaya.

Histerezograf został skonstruowany w oparciu o mikroskop polaryzacyjno-interferencyjny Biolar PI, który dodatkowo wyposażono w podgrzewany stolik i fotopowielacz. Zastosowanie fotopowielacza umożliwia obserwację na ekranie oscyloskopu pętli histerezy przy przemagnesowywaniu warstw. Proces przemagnesowania warstw powodowały sinusoidalne impulsy pola magnetycznego o regulowanej do 500 Hz częstotliwości, wytwarzane przez cewkę stanowiącą integralną część podgrzewanego stolika mikroskopu.

Regulację temperatury zapewniał regulator Therm 4142 sprzężony z zasilaczem typu Triac. Ze względu na konstrukcję stolika maksymalna temperatura nie może przekraczać 300°C. Jest to temperatura porównywalna z T_C granatu $Y_3Fe_5O_{12}$. Do pomiaru temperatury stosowano termoparę NiCr-Ni, która zapewniała lokalny pomiar temperatury (w polu widzenia obiektywu mikroskopu) z dokładnością $\pm 0,5$ K.

Moment (temperaturę) zaniku pętli histerezy przyjęto jako punkt odpowiadający temperaturze Curie.

4. EFEKTY SEGREGACJI A TEMPERATURA CURIE WARSTW

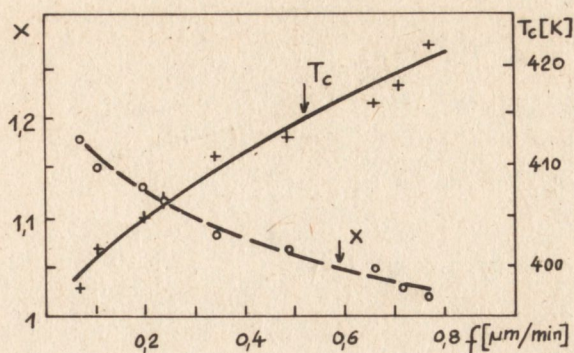
Określenie koncentracji Ga w warstwach magnetycznych granatów o składach sygnalizowanych we wstępie umożliwia uprzednie wyznaczenie jednego z dwóch podstawowych parametrów warstw $\mu_0 M$ lub T_C .

Temperatura Curie jest jednak bardziej przydatną do tego celu wielkością, jako że T_C zależy jedynie od całkowitej ilości jonów Ga w warstwie. Na wartość namagnesowania wpływ mają nadto dwa czynniki:

1. rozkład jonów Ga^{3+} w położeniach oktaedrycznych i tetraedrycznych
2. magnetyczny moment jonów ziem rzadkich w podsieci dodekaedrycznej

Korzystając z danych Hansena (rys. 2) wyznaczono zawartość Ga w warstwach $(YR)_3Fe_{5-x}Ga_xO_{12}$, R = Eu lub Sm. Obserwacje potwierdzają silną zmianę T_C z prędkością wzrostu warstw. Zmierzone wartości T_C w funkcji prędkości wzrostu f dla warstw $(YSm)_3Fe_{5-x}Ga_xO_{12}$ przedstawiano wraz z odpowiadającymi im wartościami x na rysunku 4. Większe prędkości wzrostu wpływają na zmniejszanie się koncentracji Ga i co za tym idzie wzrost T_C .

Epitaksja mieszanych granatów żelazowych ziem rzadkich z roztworu, który stanowi stopiona mieszanina $PbO + B_2O_3$ z tlenkami będącymi budulcem warstw, prowadzi do warstw mających inny stosunek poszczególnych jonów niż wyjściowa mieszanina tlenków. Różnica między wyjściowym składem, a składem warstwy spowodowana jest niejednakowym stopniem przechodzenia poszczególnych jonów



Rys. 4. T_c i x w zależności od prędkości wzrostu warstw $(YSm)_3Fe_{5-x}Ga_xO_{12}$

z roztworu do tworzącej się warstwy granatu, co można określić współczynnikiem segregacji. Współczynniki segregacji definiuje się dla jonów, które zajmują te same pozycje w komórce granatu.

Współczynnik segregacji Ga definiuje się jako:

$$\alpha_{Ga} = \frac{N_{Ga} / (N_{Ga} + N_{Fe})}{N_{Ga} / (N_{Ga} + N_{Fe})} \quad \begin{array}{l} \text{w warstwie} \\ \text{w roztworze} \end{array} \quad (8)$$

gdzie N są wyrażonymi w molach ilościami Fe i Ga.

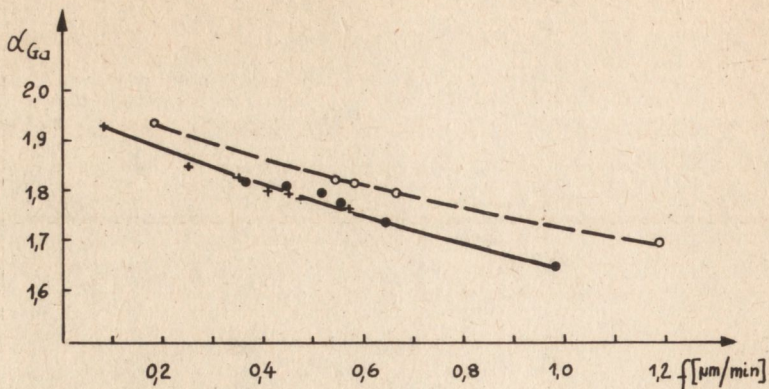
Z uwzględnieniem współczynnika R_2 wyrażenie na α_{Ga} przybiera postać:

$$\alpha_{Ga} = x (1 + R_2) / 5 \quad (9)$$

Oddzielnie współczynniki segregacji mogą być określone dla jonów zajmujących pozycje dodekaedryczne.

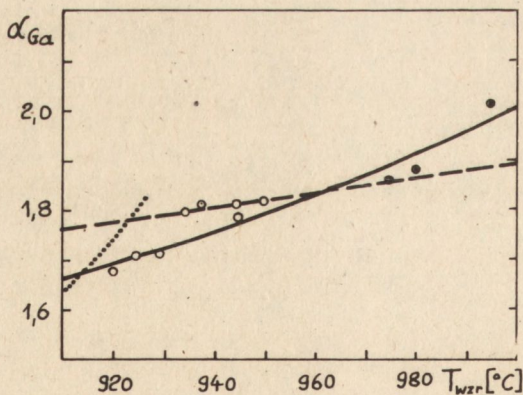
Korzystając z relacji (9) obliczono α_{Ga} . Zmiany α_{Ga} w zależności od prędkości wzrostu warstw $(YEu)_3Fe_{5-x}Ga_xO_{12}$ otrzymywanych z trzech różnych roztworów przedstawia rysunek 5. Krzywa przerywana reprezentuje α_{Ga} wyznaczone przy wzroście warstw z roztworu o $T_{nas} = 965^\circ C$ oraz $R_2 = 7,5$. Ciągła przedstawia α_{Ga} określone dla warstw otrzymanych z dwóch innych roztworów (pełne kółka odpowiadają $R_2 = 8,5$, krzyżyki - $R_2 = 7,5$) lecz o jednakowej $T_{nas} = 950^\circ C$. Obliczone wartości α_{Ga} zgadzają się z danymi literaturowymi, z których wynika, że w typowych warunkach epitaksji dla topnika $PbO - B_2O_3$ α_{Ga} zmienia się od 1,4 do 2.

Ze wzrostem temperatury epitaksji rośnie również α_{Ga} . Ilustracją zmian współczynnika segregacji galu z T_{wzr} warstw jest rysunek 6, na którym porównano wyznaczone w tej pracy wartości α_{Ga} z otrzymanymi w pracach [14,15,16].



Rys. 5. Zależność α_{Ga} od prędkości wzrostu warstw $(\text{YEu})_3\text{Fe}_{5-x}\text{Ga}_x\text{O}_{12}$

Blank i inni podali empiryczną zależność α_{Ga} od T_{wzr} w przedziale temperatur wzrostu $900 - 1100^\circ\text{C}$ w postaci $\alpha_{\text{Ga}} = 1,342 T_{\text{wzr}}[\text{K}] + 0,175$ wyznaczoną z analizy składu warstw $(\text{YEu})_3(\text{FeGa})_5\text{O}_{12}$ (krzywa przerywana na rysunku 6) [14]. Metodą atomów znaczonych autorzy pracy [15] określili skład i współczynniki segregacji poszczególnych jonów przy wzroście warstw $(\text{YGd})_3(\text{FeGa})_5\text{O}_{12}$. Wyniki ich przedstawia krzywa ciągła na rysunku 6. Uzyskane przez Robertsona i współpracowników również z wykorzystaniem atomów znaczonych wartości α_{Ga} dla warstw $(\text{YLa})_3(\text{FeGa})_5\text{O}_{12}$ odbiegają od przedstawionych uprzednio wyników (krzywa kropkowana na rysunku 6) [16].



Rys. 6. α_{Ga} względem T_{wzr} warstw \bullet - [13] krzywa ciągła - [15], krzywa przerywana - [14], krzywa kropkowana - [16]

Po przyjęciu dodatkowych założeń o stopniu wchodzenia jonów Y^{3+} , Eu^{3+} lub Sm^{3+} w położenia c można oszacować skład warstwy.

Wartości interesujących nas współczynników segregacji według Steina [17] oraz Jansena [15] wynoszą odpowiednio: $\alpha_Y = \alpha_{Eu} = 1$ oraz $\alpha_{Sm} = 0,86$. Ponieważ α_Y i α_{Eu} są prawie niezależne od T_{wzr} [15, 16, 17] można przyjąć, że proporcje tlenków Y_2O_3 i Eu_2O_3 w roztworze będą zachowane w warstwie. Dla warstw $Y_{3-v}Eu_vFe_{5-x}Ga_xO_{12}$ stosunek ilości jonów Y i Eu w warstwie wynosi $3-v/v = R_5$.

Natomiast dla warstw z Sm, ze względu na brak potwierdzonych przez inne źródła danych, założenie o niezależności α_{Sm} od prędkości wzrostu jest słabo uzasadnione.

Oszacowane zgodnie z powyższymi danymi składy warstw przedstawia wraz z niektórymi innymi parametrami warstw tablica I.

Znajomość składów oraz μ_O^M warstw pozwala na wyliczenie z równania (7) wartości namagnesowania dla granatu $Y_3Fe_{5-x}Ga_xO_{12}$. Wartości μ_O^M warstw były wyznaczone w sposób pośredni z pomiarów pola kolapsu, grubości warstwy i szerokości domem paskowych w stanie rozmagnesowania [18].

Obliczone wartości μ_O^M w przeliczeniu do składu $Y_3Fe_{5-x}Ga_xO_{12}$ przedstawiono na rysunku 3.

5. OMÓWIENIE WYNIKÓW

Zastosowana metoda pomiarowa w wąskim przedziale temperatur od 295 K do około 575 K oraz charakter badanych warstw stwarzał pewne niebezpieczeństwo popełnienia pomyłki przy interpretacji temperatury zaniku pętli histerezy. Znikanie pętli histerezy w danej temperaturze może być związane z dwoma czynnikami.

1. Punktem kompensacji ze względu na równoważenie się momentów podsielca i d spowodowane określoną ilością podstawionych w miejsce jonów Fe^{3+} jonów Ga^{3+} .

2. Osiągnięciem rzeczywistej T_C .

Według Hansena pułnt kompensacji dla składu o $x = y + z = 1,15$ wynosi 4,2 K. Natomiast T_{comp} odpowiadająca temperaturze pokojowej cechuje skład o koncentracji Ga $x = 1,26$ (stosunek dla granatu $Y_3Fe_{2-y}Ga_yFe_{3-z}Ga_zO_{12}$).

Gdyby przyjąć najniższą z obserwowanych wartości $T_C = 398$ K za hipotetyczną temperaturę kompensacji tej warstwy to koncentracja galu w niej wg [5] winna wynosić $x = 1,3$. Dla $x \approx 1,3$, $T_C = 375$ K i byłaby wobec tego niższa od temperatury kompensacji. Dla wyższych koncentracji Ga ($x > 1,27$) T_{comp} dąży do T_C .

Dla wszystkich badanych warstw nie zaobserwowano w przedziale od 295 K do 575 K więcej niż jednej temperatury, przy której znikająca pętla histerezy.

Z tego też względu przyjęto obserwowane temperatury znikania pętli histerezy

za temperatury Curie warstw. Dla tak określonych T_C przeprowadzono dalsze obliczenia, które dały wyniki zbieżne z danymi literaturowymi.

Uzyskane wyniki dowodzą użyteczności stosowanej metody, wyniki te są zadziwiająco zbliżone do otrzymanych znacznie subtelniejszymi metodami analizy składu, np. przy użyciu mikros sondy elektronowej; lub z wykorzystaniem atomów znaczonych.

Oczywiście przydatność i wiarygodność prezentowanego sposobu określania koncentracji określonego pierwiastka zwi ązan ą jest z wąską grup ą magnetycznych granatów i nie ma w najmniejszym stopniu uniwersalnego charakteru.

Prostota metody i otrzymane za jej pomocą rezult ąty mog ą by ć przyk ądem. w łaściwego skorzystania z pewnych cech mierzonego materiału, bez konieczności uciekania si ę do czasochłonych i kłopotliwych interpretacyjnie technik.

(Tekst dostarczono 10.IX.1981)

LITERATURA

1. G.F.Dionne, J.Appl.Phys., 41, 4874 (1970)
2. C.D.Brandle and S.L.Blank, IEEE Trans. on Mag., 12, 14 (1976)
3. S.Geller, H.J.Williams, R.C.Sherwood, J.P.Remeika and G.P.Espinosa, Phys.Rev., 131, 1080 (1963)
4. W.P.Wolf and J.H.Van Vleck, Phys.Rev., 118, 1490 (1960)
5. P.Hansen, P.Röschmann and W.Tolksdorf, J.Appl.Phys., 45, 2728 (1973)
6. P.Cornert and C.D.D'Ambly, Phys.stat.sol., (a), 29, 95 (1975)
7. M.A.Gilleo and S.Geller, Phys.Rev., 110, 73 (1958)
8. E.A.Giess, B.A.Calhoun, E.Kloholm, I.R.McGuire and L.L.Rosier, Mat. Res. Bull., 6, 317 (1971)
9. E.E.Anderson, Phys.Rev., 134, 1581 (1964)
10. D.C.Leo, D.A.Lepore and J.W.Nielsen, J.Appl.Phys., 37, 1083 (1966)
11. H.J.Levinstein, S.Licht, R.W.Landorf and S.L.Blank, Appl.Phys.Lett., 19, 486 (1971)
12. S.L.Blank and J.W.Nielsen, J.Cryst.Growth, 17, 302 (1972)
13. J.Sarnecki, Mat. II Ogólnopolskiej Konf.Fizyka Magnetyków, Poznań (1978), 281
14. S.L.Blank, B.S.Hewitt, L.K.Shick and J.W.Nielsen, AIP Conf.Proc., 10, 256, (1973)
15. G.A.Jansen, J.M.Robertson and N.L.Verheijke, Mat.Res.Bull., 8, 59 (1973)
16. J.M.Robertson, W.Tolksdorf and H.D.Jonker, J.Cryst.Growth, 27, 241 (1974)
17. E.F.Stein, AIP Conf.Proc., 18, 48 (1974)
18. D.C.Fowles and J.A.Copeland, AIP Conf.Proc., 5, 240 (1972)