

INVESTIGATION OF TWO DIMENSIONAL GRAIN GROWTH IN Au FILMS

V.G.Sursaeva*

Institute of Solid State Physics, RAS, Chernogolovka, Moscow Distr., 142432 Russia

Introduction

The 2-D polycrystal thin films – are good model for the grain growth investigation. We can study the role of triple junctions during grain growth [1]. The questions discussed in this paper are: is there the stage of normal grain growth in thin films, what are the laws of grain growth in thin films, what is the role of triple junctions during grain growth in thin films. The 2-D films with “columnar” structure were produced by vacuum evaporation of high – purity Au and were annealed for 0.3-2 h at 873 K for grain growth. The term 2-D “columnar” structure labels a system where grain boundaries are perpendicular to the sample plane and where sample thickness is of the order of the mean grain size. Fig.1.

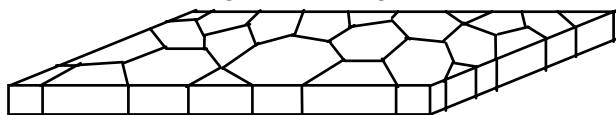


Fig.1. The scheme of 2-D “columnar” structure

Films thickness was 150 nm. To study the kinetic parameters of the grain growth the visualisation of microstructure was produced by transmission electron microscopy.

Results

Fig.2. shows the mean grain size time dependence exhibits linear time dependence, not parabolic, and Fig.3 shows self-similar behaviour.

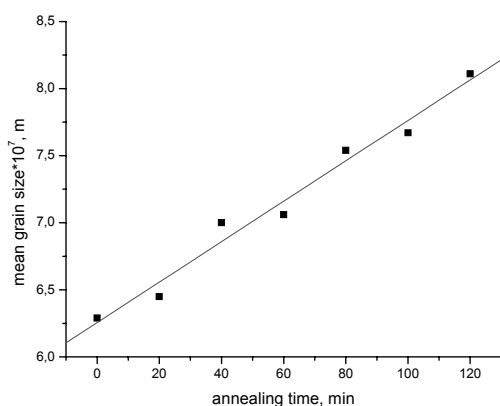


Fig.2. Time dependence of mean grain size at annealing temperature 873K

Self-similar (scaling) behaviour is often observed experimentally in polycrystals and called normal grain growth. The two natural characteristics of 2-D polycrystals are mean grain area \bar{S} and topological class n (the number of grain neighbours). One of the most important indication of the normal grain growth is the linearity of the mean topological class $\bar{n}(S)$ vs. relative grain area S/\bar{S} [2,3]. The experimental results (Fig. 3) shows we observed the normal grain growth in thin Au film.

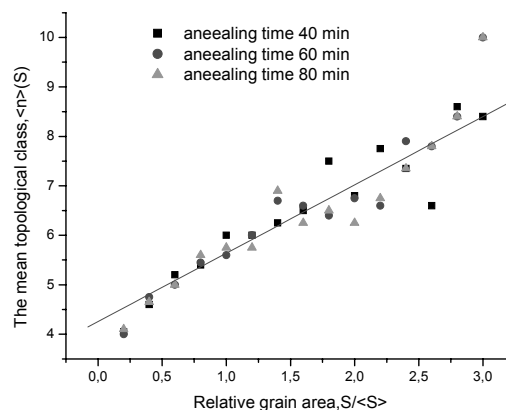


Fig. 3. The mean topological class $\bar{n}(S)$ vs. relative grain area S/\bar{S} at 873K

We compared our experimental results on the temperature dependence of the rate of the mean grain size change for the different materials with different structure and different mean grain size: films (0,0001mm), foils (0.1 mm), strips (1mm), individual grain boundaries (1 mm) and individual triple junctions(1mm).

Discussion

The main result of grain growth is the change of grain microstructure. Since as this change is accomplished by the displacement of the elements of grain microstructure – grain boundaries and triple junctions- the investigation of their motion is extremely important to understand the laws of grain microstructure evolution and its stability [4] So far this has been associated with grain boundaries only. For triple

* Fax: 7 096 524 9701 E-mail: sursaeva @issp.ac.ru

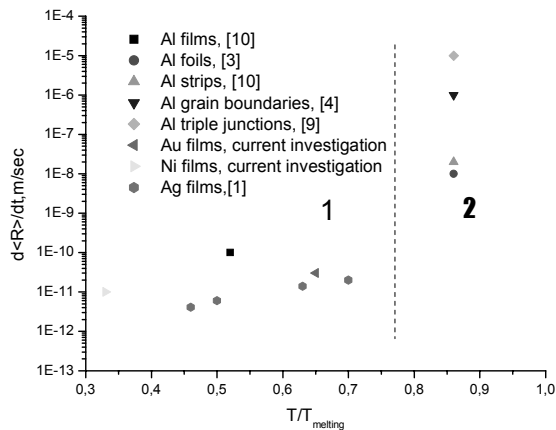


Fig.4. The mean grain size growth velocity for different heat temperatures in metals with different microstructures and different mean grain size.

junctions it was assumed that their mobility is infinitely large, so they don't affect grain boundary motion and their role in grain microstructure evolution is reduced to preserve the angles where boundaries meet. Such assessment does not result from a physical analysis, rather its a conventional tacit assumption. For 2-D (columnar) structures the location of a grain boundary intersection is a line and the discussed assumption leads for uniform grain boundaries to the well-known Von Neumann-Mullins relation [5,6]. The mentioned assumption and relation provides the basis for virtually all theories of grain growth, for the theoretical analysis of experimental data and for a large body of computer simulations of grain growth in 2-D systems [7]. It was shown that at relatively low temperatures the motion of the grain boundary system with triple junction is determined by the triple junction mobility, while at elevated temperatures grain boundary mobility controls the migration of the system. Results were obtained in experiments on Zn and Al tricrystals. [8-9].

We would like to point out that grain boundaries and triple junctions are equally important structural elements in polycrystals.

We suppose linear time dependence (Fig.2) is due to triple junction drag of the boundary motion. From the slope of this dependence we get the triple junction velocity $3 \cdot 10^{-11}$ m/sec, this value agrees with experimental data for Ag films [1].

In region 1 (Fig.4) the triple junction mobility is much lower than the grain boundary mobility. In this region the motion of grain boundary system is entirely controlled by the triple junction mobility and we can state that triple junctions drag grain boundary motion. In region 2, however, the triple junction is more mobile than the grain boundary, and, correspondingly, it would

will be correct to state that the motion of the system is dragged by grain boundaries. We suppose the dependence displays such behaviour when the function of triple junction migration is different. At low temperatures ($0.3-0.7T/T_m$) there are no difference in rate of mean grain size with increasing of temperature. It means that triple junction migration is main drag process in grain growth. With the increasing temperature to $0.85 T/T_m$ the rate of change of mean grain size increases. We suppose in some parts of microstructure the migration of grain boundaries comes into force. The higher temperature the more effect of grain boundary migration. Our experimental results provide support for this view.

Resume

The grain growth in Au thin films is defined by the triple junction motion.

References

- 1.V.G.Sursaeva, S.G.Protasova, A.Yu. Tuffin. Poverhnost, 2, 1999,p.51-53.
- 2.V.E.Fradkov, M.E. Glikzman, M.Palmer and K. Rajan, Acta metall.mater, Vol. 42, No. 8, 1994, pp. 2719-2727.
- 3.V.G.Sursaeva, L.S.Shvindlerman, Proceedings of the 16th Riso International Symposium on Materials Science: Microstructural and Crystallographic Aspects of Recrystallization. Editors: N.Hansen, D.Juul Jensen, Y.L.Liu and B.Ralph.Riso National Laboratory, Roskilde, Denmark 1995, pp. 559-563.
- 4.G.Gottstein and L.S.Shvindlerman, "Grain Boundary Migration in Metals: Thermodynamics, Kinetics, Applications", CRC Press.1999
- 5.J.Von Neumann, in "Metal Interfaces", Americal Society for Testing Materials, Clevaalnd, 1952, p.108.
- 6.W.W. Mullins, J.Phys., 27, 1956, p.900.
7. V.E.Fradkov and L.S.Shvindlerman, "Structure and Properties of Interfaces in Metals", Moscow,"Nauka",1988,p.213.
- 8.U.Czubayko, V.G.Sursaeva, G.Gottstein and L.S.Shvindlerman, Acta Mater,46,1998,pp.5863-5871.
- 9.S.G,Protasova, G.Gottstein, D.A.Molodov, V.G.Sursaeva and L.S.Shvindlerman; Acta Mater. 49 (2001) 2519-2525.
- 10.S.Protasova and V.Sursaeva, Interface Science 9,307-310, 2001.

The authors are grateful to the Russian Foundation for Basic Research for financial support of the program through contract 03-02-04000.

ИЗУЧЕНИЕ ДВУМЕРНОГО РОСТА ЗЕРЕН В ПЛЕНКАХ Au

Сурсаева В.Г.[†]

Институт физики твердого тела, РАН, Черноголовка, Московская область., 142432, Россия

Введение

2-D поликристаллические тонкие пленки – удобные модели для изучения роста зерен. На них мы можем изучать роль тройных стыков при роста зерен [1]. Основные вопросы, поставленные в этой работе: существует ли стадия нормального роста зерен в пленках, какие законы роста зерен в пленках, какова роль тройных стыков при росте зерен в пленках. 2-D пленки со «столбчатой» структурой были получены напылением в вакууме высокочистого Au и отжигались в течение 0.3-2 часов при 873 К. Термин 2-D «столбчатая» структура определяет систему, в которой границы зерен перпендикулярны поверхности пленки, а толщина пленки порядка среднего размера зерна в пленке. Рис.1.



Рис.1. Схема 2-D «столбчатой» структуры.

Толщина пленки составляла 150 нм. Структуру изучали в просвечивающем электронном микроскопе.

Результаты

Из Рис.2. видно, что зависимость среднего размера зерна от времени линейная, а не параболическая, а из Рис.3 следует, поведение зеренной структуры- автомодельное.

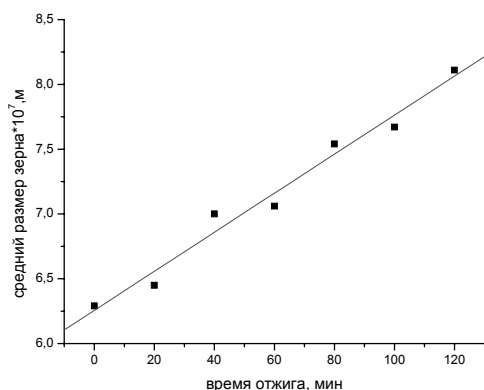


Рис.2. Зависимость среднего размера зерна от времени при 873К.

Автомодельное поведение зеренной структуры часто называют нормальным ростом зерен. Основные характеристики 2-D поликристалла: средняя площадь зерна \bar{S} и топологический класс n (число соседей зерна). Одним из основным доказательств нормального роста зерен является линейная зависимость среднего топологического класса $\bar{n}(S)$ от средней площади S/\bar{S} [2,3]. Рис.2 и Рис.3 подтверждают, что мы наблюдали нормальный рост зерен в пленка Au.

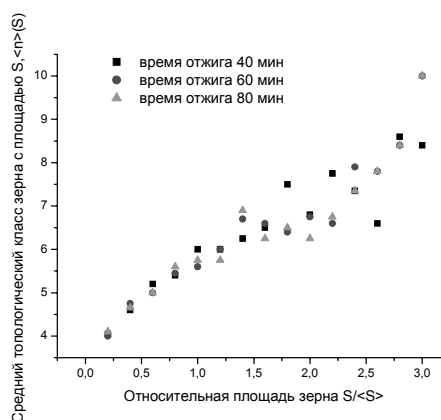


Рис.3. Зависимость среднего топологического класса $\bar{n}(S)$ от относительной площади зерна S/\bar{S} при 873К

На Рис.4 представлены для сравнения экспериментальные результаты температурной зависимости скорости изменения среднего размера зерна в разных материалах и с разным средним размером зерна: в пленках (0,0001 мм), фольгах (0.1 мм), лентах (1мм), одиночных границ зерен (1 мм) и одиночных тройных стыков (1мм).

Обсуждение результатов

Основной результат роста зерен это изменение микроструктуры за счет смещения границ зерен и тройных стыков. Поэтому изучение движения границ зерен и тройных стыков очень важно для понимания законов эволюции микроструктуры и ее стабильности [4]. До недавнего времени изменение микроструктуры связывали лишь с границами

[†] Факс : 7 096 524 9701

E-mail: sursaeva@issp.ac.ru

зерен. Предполагалось, что тройные стыки обладают бесконечной подвижностью и не тормозят движение границ зерен и их роль в эволюции микроструктуры сводится лишь к поддержанию равновесных углов в стыке.

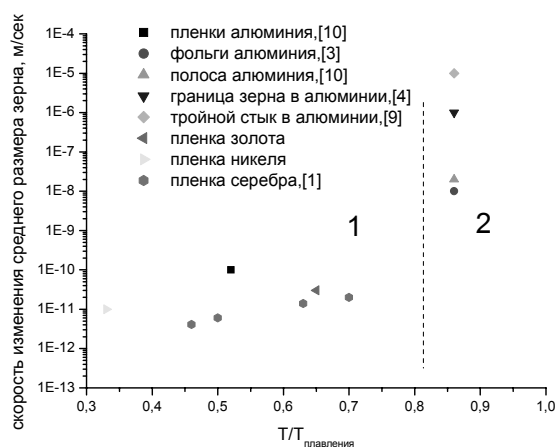


Рис.4. Температурная зависимость скорости изменения среднего размера зерна для металлов с разным средним размером зерна.

Это не следует из физического анализа, а является удобным упрощением. В 2-D (столбчатых) структурах границы пересекаются по линии, и указанное предположение для одинаковых границ приводит к известному соотношению Фон Неймана-Маллинса [5,6]. Это соотношение лежит в основе всех теорий роста зерен, всех теоретических анализов экспериментальных результатов и огромного количества моделей роста зерен в 2-D системах [7]. Экспериментально было обнаружено, что при относительно низких температурах движение зернограницных систем с тройным стыком лимитируется подвижностью тройного стыка, в то время как при высоких температурах подвижность границ контролирует движение системы. Эти результаты были получены на Zn и Al трикристаллах. [8-9].

Хотелось бы подчеркнуть, что границы зерен и тройные стыки являются одинаковыми структурными элементами по их роли в эволюции структуры поликристалла.

Мы предполагаем, что линейная зависимость среднего размера зерна от времени (Fig.2) является следствием торможения границ зерен тройными стыками. Наклон этой зависимости дает усредненное значение скорости тройного стыка $3 \cdot 10^{-11}$ м/сек, которое хорошо согласуется с экспериментальным значением, полученным для пленки Ag [1].

В области 1 (Fig.4) подвижность тройного стыка меньше зернограницной. В этой области 1 тройные стыки тормозят

движение границ и рост зерен контролируется подвижностью тройных стыков. В области 2 тройные стыки более подвижные, чем границы зерен и можно утверждать, что рост зерен тормозится границами зерен. Рис.4 отражает разное поведение тройных стыков. При низких температурах (0.3-0.7T/T_m) мы практически не наблюдаем роста скорости изменения среднего размера зерна с температурой в пленках, где большая доля тройных стыков в структуре из-за малого размера зерна. При 0.85 T/T_m скорость возрастает на несколько порядков. Мы предполагаем, стыки уже не тормозят движение границ. И чем выше температура, тем сильнее влияние границ зерен на рост зерен.

Выводы

Рост зерен в 2-D пленках Au контролируется движением тройных стыков.

Литература

- V.G.Sursaeva, S.G.Protasova, A.Yu. Tuffin. Poverhnost, 2, 1999,p.51-53.
- V.E.Fradkov, M.E. Gliksman, M.Palmer and K. Rajan, Acta metall.mater, Vol. 42, No. 8, 1994, pp. 2719-2727.
- V.G.Sursaeva, L.S.Shvindlerman, Proceedings of the 16th Riso International Symposium on Materials Science: Microstructural and Crystallographic Aspects of Recrystallization. Editors: N.Hansen, D.Juul Jensen, Y.L.Liu and B.Ralph.Riso National Laboratory, Roskilde, Denmark 1995, pp. 559-563.
- G.Gottstein and L.S.Shvindlerman, "Grain Boundary Migration in Metals: Thermodynamics, Kinetics, Applications", CRC Press.1999
- J.Von Neumann, in "Metal Interfaces", Americal Society for Testing Materials, Clevealand, 1952, p.108.
- W.W. Mullins, J.Phys., 27, 1956, p.900.
- V.E.Fradkov and L.S.Shvindlerman, "Structure and Properties of Interfaces in Metals", Moscow,"Nauka",1988,p.213.
- U.Czubayko, V.G.Sursaeva, G.Gottstein and L.S.Shvindlerman, Acta Mater,46,1998,pp.5863-5871.
- S.G,Protasova, G.Gottstein, D.A.Molodov, V.G.Sursaeva and L.S.Shvindlerman; Acta Mater. 49 (2001) 2519-2525.
- S.Protasova and V.Sursaeva, Interface Science 9,307-310, 2001.

Авторы благодарны Российскому Фонду Фундаментальных Исследований (грант № 03-02-04000) за финансовую поддержку работы.