



УДК 621.793.14
doi: 10.21685/2587-7704-2023-8-1-14



Open
Access

RESEARCH
ARTICLE

Прозрачные аморфно-оксидные полупроводники для гибкой электроники

Тимур Олегович Зинченко

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
scar0243@gmail.com

Екатерина Анатольевна Печерская

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
peal@list.ru

Олег Валентинович Карпанин

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
karpanino@mail.ru

Павел Евгеньевич Голубков

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
golpavpnz@yandex.ru

Диана Евгеньевна Тузова

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
diana.tuzova.02@bk.ru

Аннотация. Исследования аморфных полупроводников начались в 1950-х годах с целью поиска материалов, которые могли бы обладать этими преимуществами. Наибольшее влияние на электронику оказало открытие гидрированного аморфного кремния (a-Si:H) в 1975 году Спиром и Лекомбером. Это первый материал, который может быть использован при контроле носителей заряда путем легирования примесями. История аморфно-оксидных полупроводников началась в 1954 году с сообщения Стенворта об электронных проводящих стеклах, содержащих V_2O_5 . Обычные аморфные материалы, состоящие из химических связей, обладающих высокой ковалентностью и большой запрещенной зоной (прозрачные), являются электрически изолирующими.

Ключевые слова: аморфно-оксидные полупроводники, аморфные материалы, аморфный кремний, OLED-дисплей

Финансирование: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант РНФ 23-29-00343).

Для цитирования: Зинченко Т. О., Печерская Е. А., Карпанин О. В., Голубков П. Е., Тузова Д. Е. Прозрачные аморфно-оксидные полупроводники для гибкой электроники // Инжениринг и технологии. 2023. Т. 8 (1). С. 1–4. doi: 10.21685/2587-7704-2023-8-1-14

Transparent amorphous oxide semiconductors for flexible electronics

Timur O. Zinchenko

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
Scar0243@gmail.com

Ekaterina A. Pecherskaya

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
peal@list.ru

Oleg V. Karpanin

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
karpanino@mail.ru

Pavel E. Golubkov

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
golpavpnz@yandex.ru



Diana E. Tuzova

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
diana.tuzova.02@bk.ru

Abstract. Research on amorphous semiconductors began in the 1950s with the aim of finding materials that could have these advantages. The discovery of hydrogenated amorphous silicon (a-Si:H) in 1975 with pen and Lecomber had the greatest impact on electronics. This is the first material that can be used in the control of charge carriers by doping with impurities. The history of amorphous oxide semiconductors began in 1954 with Stanworth's report on electronic conductive glasses containing V_2O_5 . Ordinary amorphous materials consisting of chemical bonds with high covalence and a large band gap (transparent) are electrically insulating.

Keywords: amorphous oxide semiconductors, amorphous materials, amorphous silicon, OLED display

Financing: the work was supported by the Russian Science Foundation (grant RSF 23-29-00343).

For citation: Zinchenko T.O., Pecherskaya E.A., Karpanin O.V., Golubkov P.E., Tuzova D.E. Transparent amorphous oxide semiconductors for flexible electronics. *Inzhiniring i tekhnologii = Engineering and Technology*. 2023;8(1):1–4. (In Russ.). doi: 10.21685/2587-7704-2023-8-1-14

Наиболее важной особенностью полупроводников является управляемость концентрацией носителей на несколько порядков величины. Уникальным преимуществом аморфных материалов перед кристаллическими является возможность осаждения однородных тонких пленок на большой площади при низких температурах. Эти технологические преимущества делают аморфные полупроводники чрезвычайно выгодными для крупногабаритных электронных устройств, изготавливаемых на пластиковых подложках. Исследования аморфных полупроводников начались в 1950-х годах с целью поиска материалов, которые могли бы обладать этими преимуществами [1, 2]. На рис. 1 показана история аморфных полупроводников.



Рис. 1. История аморфных полупроводников

Наибольшее влияние на электронику оказало открытие гидрированного аморфного кремния (a-Si:H) в 1975 году Спиром и Лекомбером [3]. Это первый материал, который может быть использован при контроле носителей заряда путем легирования примесями, как и в кристаллическом Si, и это открыло новый рубеж, называемый «гигантской микроэлектроникой», основанный на схемах, изготовленных на подложке большой площади. О подложке тонкопленочного транзистора (ТТ) a-Si:H на стекле также впервые сообщил Лекомбер. [4]. Хотя подвижность при полевом эффекте оставалась небольшой величиной, но достаточной для работы с жидкокристаллическими дисплеями, которые являются устройствами, управляемыми напряжением, и просты в изготовлении на стеклянной подложке. Таким образом ТТ удовлетворял требованиям к объединительной плате LCD-дисплея, которая появилась в 1980-х годах и в настоящее время является фундаментальным строительным блоком схемы для плоских дисплеев с активной матрицей. Аморфно-оксидные полупроводники имеют долгую историю, сравнимую с аморфными халькогенидами, такими как a-Se. История аморфно-оксидных полупроводников началась в 1954 году с сообщения Стенворта об электронных проводящих стеклах, содержащих V_2O_5 . [5]. Этот доклад стал прорывом в науке о стекле: он опроверг широко распространенное мнение о том, что «стекло – это диэлектрик». С тех пор серия оксидных стекол, состоящих из оксида переходного металла переменной валентности и стеклообразующих оксидов, таких как P_2O_5 , получила название «стеклообразные полупроводники» [6]. Электронная проводимость в стеклообразных полупроводниках в основном контролируется переменным диапазоном перехода между катионами переходных металлов с различными валентными состояниями. Таким образом,



подвижность носителей очень мала и сравнима с подвижностью обычных халькогенидных стекол. В последнее время быстро появляется новая электроника, которая не может быть изготовлена по технологии Si-C-MOS. Этот рубеж, получивший название «гибкая электроника», характеризуется электронными схемами, изготовленными на органических пластиковых (мягких) подложках вместо неорганических (твердых) стекол. Эта область была рождена в связи с сильным спросом на легкие гибкие дисплеи большой площади и обусловлена тем, что стеклянные подложки, которые являются тяжелыми и хрупкими, очевидно, неприменимы. Аморфные полупроводники предпочтительнее кристаллических полупроводников для гибкой электроники. До сих пор органические полупроводники исследовались почти исключительно для таких применений [7], но их характеристики и химическая / электрическая нестабильность все еще недостаточны для практического применения: например, полевая подвижность органических ТТ недостаточна для создания OLED-дисплеев с высоким разрешением и высокой скоростью, а также для обеспечения стабильности производительности. Группа из Токийского технологического института Японии начала систематическое исследование материалов ионных аморфно-оксидных полупроводников в 1994 году [8]. Рисунок 2 иллюстрирует карту расположения различных типов аморфных материалов на плоскости, состоящей из оси природы химической связи и оси запрещенной зоны.

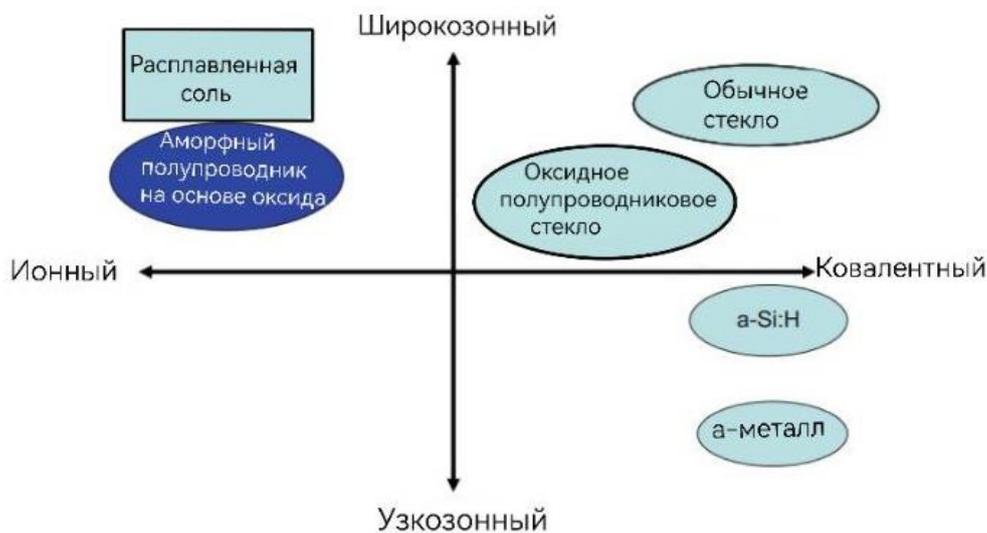


Рис. 2. Карта аморфных материалов

Из рисунка следует, что обычные аморфные материалы, состоящие из химических связей, обладающих высокой ковалентностью и большой запрещенной зоной (прозрачные), являются электрически изолирующими. Видно, что прозрачный, ионный, аморфный полупроводник является неиспользуемым классом аморфных полупроводников. Поскольку для получения таких аморфных ионных материалов требуется чрезвычайно высокая скорость термической закалки, по сравнению с обычным оксидным стеклом, для этой цели подходят методы физического осаждения из паровой фазы на подложку при комнатной температуре (RT).

Список литературы

1. Mott N. F., Davis E. A. *Electronic Processes in Non-Crystalline Materials*. Oxford : Clarendon-Press, 1971.
2. Elliott S. R. *Physics of Amorphous Materials* : 2nd ed. New York : Longman Scientific, 1990.
3. Spear W. E., LeComber P. G. Substitutional doping of amorphous silicon // *Solid State Commun.* 1975. № 17 (9). P. 1193.
4. LeComber P. G., Spear W. E., Ghaith A. Investigation of the density of localized states in a-Si using the field effect technique // *Electronics Letters*. 1979. № 15. P. 179.
5. Denton E. P., Rawson H., Stanworth J. E. Vanadate Glasses // *Nature*. 1954. P. 1030–1032.
6. Austin I. G., Mott N. F. Polarons in crystalline and non-crystalline materials // *Advances in Physics*. 1969. № 18 (71). P. 41–102.
7. Dimitrakopoulos C. D., Mascaro D. J. Organic thin-film transistors: A review of recent advances // *IBM Journal of Research and Development*. 2001. № 45. P. 11.
8. Hosono H., Kamiya T., Hirano M. Function Cultivation of Transparent Oxides Utilizing Built-In Nanostructure // *Bulletin of the Chemical Society of Japan*. 2006. № 79. P. 1.



References

1. Mott N.F., Davis E.A. *Electronic Processes in Non-Crystalline Materials*. Oxford: Clarendon-Press, 1971.
2. Elliott S.R. *Physics of Amorphous Materials: 2nd ed.* New York: Longman Scientific, 1990.
3. Spear W.E., LeComber P.G. Substitutional doping of amorphous silicon. *Solid State Commun.* 1975;(17):1193.
4. LeComber P.G., Spear W.E., Ghaith A. Investigation of the density of localized states in a-Si using the field effect technique. *Electronics Letters.* 1979;(15):179.
5. Denton E.P., Rawson H., Stanworth J.E. Vanadate Glasses. *Nature.* 1954:1030–1032.
6. Austin I.G., Mott N.F. Polarons in crystalline and non-crystalline materials. *Advances in Physics.* 1969;(18):41–102.
7. Dimitrakopoulos C.D., Mascaro D.J. Organic thin-film transistors: A review of recent advances. *IBM Journal of Research and Development.* 2001;(45):11.
8. Hosono H., Kamiya T., Hirano M. Function Cultivation of Transparent Oxides Utilizing Built-In Nanostructure. *Bulletin of the Chemical Society of Japan.* 2006;(79):1.

Поступила в редакцию / Received 07.04.2023

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 11.05.2023

Принята к публикации / Accepted 27.05.2023