

УДК 621.315.5

PACS: 42.79.Pw, 85.60.Gz, 07.57.Kp, 85.60.Dw

Определение толщины матриц ФЧЭ из антимонида индия по ИК-спектрам отражения

Е. В. Пермикина

Рассмотрен метод определения толщин тонких матриц на основе ИК-спектров отражения. Исследована статистика распределения толщины матриц ФЧЭ из антимонида индия формата 640×512 элементов с шагом 15 мкм, утоньшенных методом химико-динамической полировки. Показана динамика улучшения технологии утоньшения МФЧЭ.

Ключевые слова: интерференция, ИК-спектр отражения, МФЧЭ, МФПУ, антимонид индия.

Ссылка: Пермикина Е. В. // Прикладная физика. 2019. № 6. С. 68.

Reference: E. V. Permikina, Prikl. Fiz., No. 6, 68 (2019).

Введение

Одним из важных направлений фотоэлектроники является производство широкоформатных матричных фотоприемных устройств (МФПУ). Инфракрасные охлаждаемые МФПУ для средневолнового (3–5 мкм) спектрального диапазона с достаточно высокой чувствительностью и низким уровнем шума, высоким пространственным и временным разрешением изготавливаются на основе крупноформатных фокально-плоских матриц фоточувствительных элементов (МФЧЭ), материалом для которых на данный момент, в основном, служит объемный антимонид индия InSb [1, 2].

Современное МФПУ представляет собой матрицу фоточувствительных элементов, гибридованную с большой интегральной схемой (БИС) считывания индиевыми микроконтактами методом холодной сварки [3–6]. Оптическое излучение, падающее на обратную сторону МФЧЭ, генерирует фототок, принимаемый фоточувствительными элементами. Затем фотоэлектрический сигнал преобразуется и считывается схемой обработки

электрического сигнала – БИС. С целью улучшения фоточувствительности МФПУ и улучшения пространственного разрешения матрицу из антимонида индия, гибридованную с кремниевой БИС, утоньшают со стороны падения ИК-излучения до толщины около 10 мкм [7, 8]. Такая толщина меньше диффузионной длины фотоносителей, что обеспечивает сбор p – n -переходом почти всех сгенерированных носителей.

Одним из ключевых моментов при утоньшении МФЧЭ большого формата является получение матриц с плоскопараллельными гранями и однородными по толщине, так как отклонения от данных требований приводят к появлению интерференционных полос и других дефектов изображений МФПУ [9]. Наиболее приемлемый метод контроля толщины утоньшенных матриц ФЧЭ, соединенных с БИС-считывания, – измерение толщин по ИК-спектрам отражения.

В данной работе представлены результаты исследования толщины матриц фоточувствительных элементов формата 640×512 элементов с шагом 15 мкм, изготовленных из объемного антимонида индия. Распределение толщины по площади матриц определялось при помощи ИК-спектров отражения. Работа проводилась в течение длительного временного промежутка (январь–сентябрь 2019 г.) с целью выявления динамики улучшения технологии утоньшения МФЧЭ.

Пермикина Елена Вячеславовна, вед. инженер.

АО «НПО «Орион».

Россия, 111538, Москва, ул. Косинская, 9.

E-mail: ORION_KASHUBA@mail.ru

Статья поступила в редакцию 11 декабря 2019 г.

© Пермикина Е. В., 2019

Методика исследования

Объект исследования – матрицы из антимонида индия формата 640×512 элементов. После гибридной с кремниевой интегральной схемой считывания (см. рис. 1, а) поверхность каждой матрицы утоньшалась химико-динамической полировкой со стороны падения ИК-излучения до заданной толщины. Конечная толщина определялась на основе спектров отражения в пяти точках: по периметру (в углах) и по центру каждой матрицы (см. рис. 1, б). Спектры отражения получали на Фурье-спектрофотометре FTIR-8400S SHIMADZU. Данный спектрофотометр позволяет проводить измерения в инфракрасной области спектра при использовании одной из оптических систем интерферометра Майкельсона [10].

При отражении излучения от тонкой структуры (в данном случае с матрицы ФЧЭ) наблюдается интерференция вследствие раз-

личий в разности хода двух когерентных лучей, возникающих при расщеплении исходного луча (луч SA), отраженного от внешней и от внутренней поверхностей МФЧЭ [11], как показано на рис. 1, б. При изменении длины волны падающего излучения получают интерференционные максимумы или минимумы отраженного (от МФЧЭ) излучения. По расположению этих интерференционных максимумов и минимумов отраженного излучения можно определить толщину матрицы ФЧЭ.

На рис. 2 представлен спектр ИК-отражения от поверхности МФЧЭ. Как видно, в области оптического пропускания антимонида индия при комнатной температуре (т. е. для излучения с волновыми числами $\nu < 1200 \text{ см}^{-1}$) наблюдаются осцилляции коэффициента отражения, характерные для интерференции излучения в тонких структурах. Заметим, что в области поглощения антимонида индия $\nu > 1200 \text{ см}^{-1}$ осцилляции пропадают.

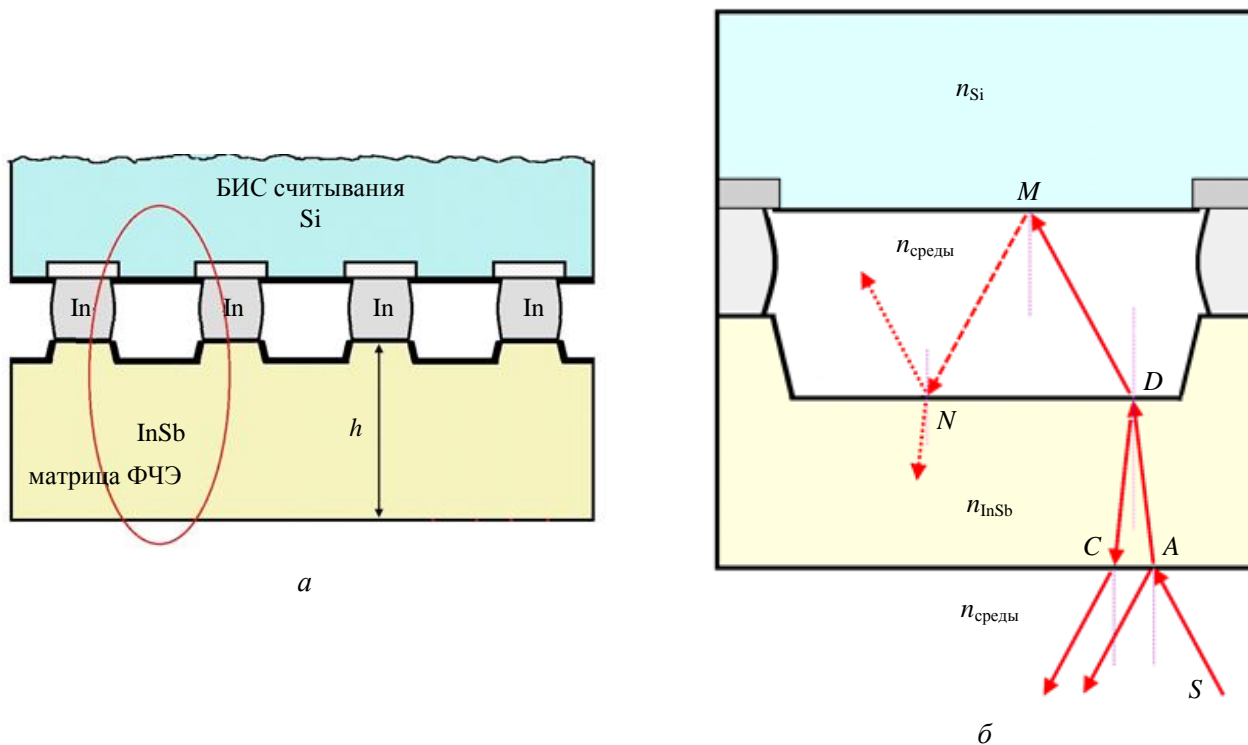


Рис. 1. Условия и схема интерференции: а – МФЧЭ, гибридованная с БИС считывания; б – схема взаимодействия оптических лучей с МФЧЭ и БИС считывания.

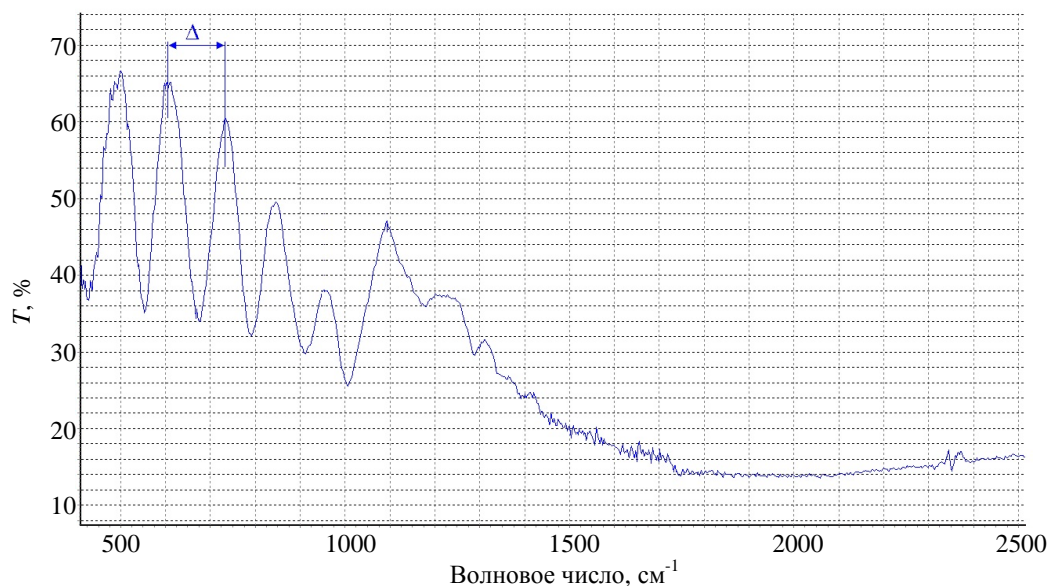


Рис. 2. ИК-спектр отражения в центральной точке МФЧЭ.

Толщину матрицы ФЧЭ в заданной точке можно определить, измерив по спектру отражения расстояния между интерференционными максимумами Δ и пересчитав их в разность хода оптических лучей.

Поскольку исходный луч падает на образец под углом, близким к нормальному, то угол падения $i \rightarrow 0^\circ$ и, следовательно, угол преломления $r \rightarrow 0^\circ$. Следовательно, $\cos r \rightarrow 1$.

Толщина матрицы в мкм определяется по формуле:

$$h = \frac{10000}{2n\Delta_{\text{ср}}}$$

где n – показатель преломления InSb; $\Delta_{\text{ср}}$ – среднее значение расстояний между интерференционными максимумами, см^{-1} . В нашем случае среднее значение Δ определялось по 5÷8 максимумам в диапазоне пропускания антимонида индия 600 ÷ 1200 см^{-1} .

Результаты и обсуждение

В работе проведены экспериментальные исследования толщины по периметру и по центру 392 матриц фоточувствительных элементов из объемного антимонида индия формата 640×512 элементов с шагом 15 мкм, полированных со стороны падения оптиче-

ского излучения с целью утоньшения их до 10÷11 мкм. Исследования проводились в течение длительного временного промежутка с января по сентябрь 2019 года. Измеренные значения толщин по периметру и по центру каждой МФЧЭ показали, что матрицы имели такие отклонения от плоскопараллельности, как клиновидность и «вогнутость линзы».

На рис. 3 и 4 представлены соответственно зависимости от номера образца среднего значения толщины и стандартное отклонение толщины по 5 точкам в каждой матрице ФЧЭ.

Из этих данных следует, что:

- имеется тенденция уменьшения среднего значения толщины до оптимального;
- имеется тенденция уменьшения разброса толщины МФЧЭ в среднем от 1,5 до менее 0,4 мкм;
- улучшение технологии позволило реализовать значение толщины 10 ± 2 мкм, которая обеспечивает пространственное разрешение, заданное техническими требованиями на МФПУ;
- оптимальная толщина фоточувствительного слоя и плоскопараллельность поверхности МФПУ способствует повышению чувствительности, повышению пространственного разрешения и улучшению однородности характеристик МФПУ.

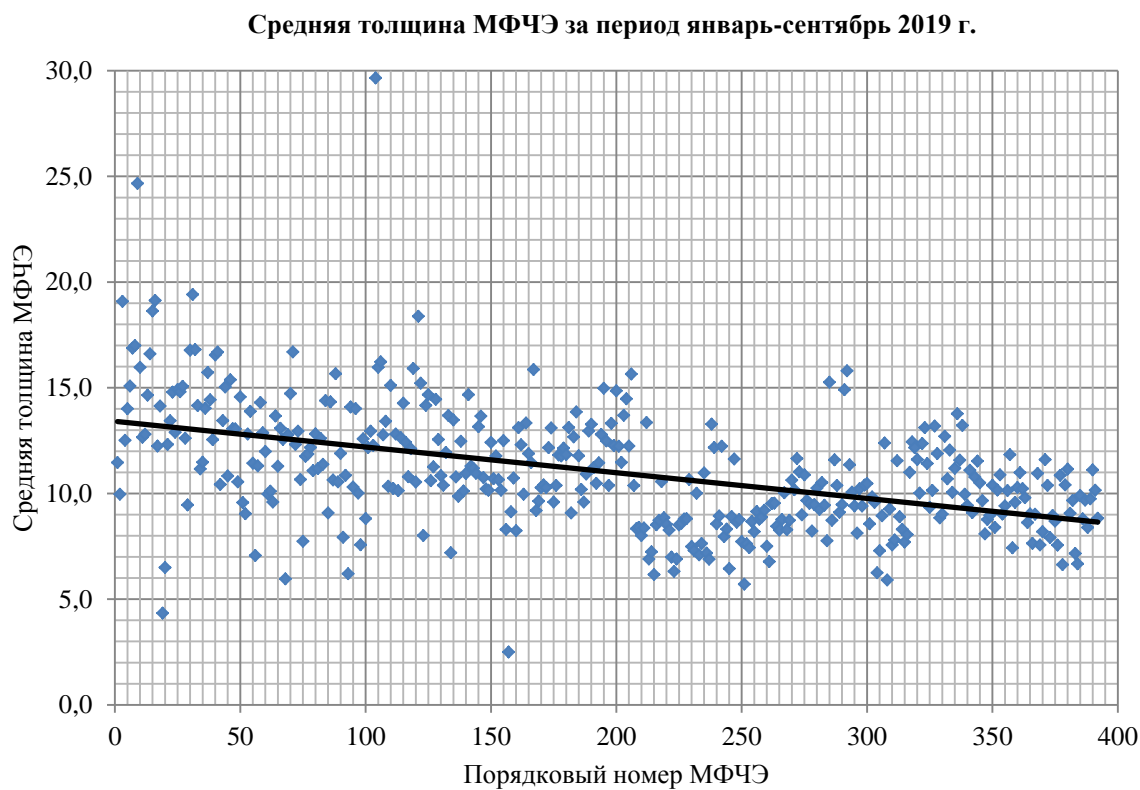


Рис. 3. Средние значения толщины МФЧЭ.

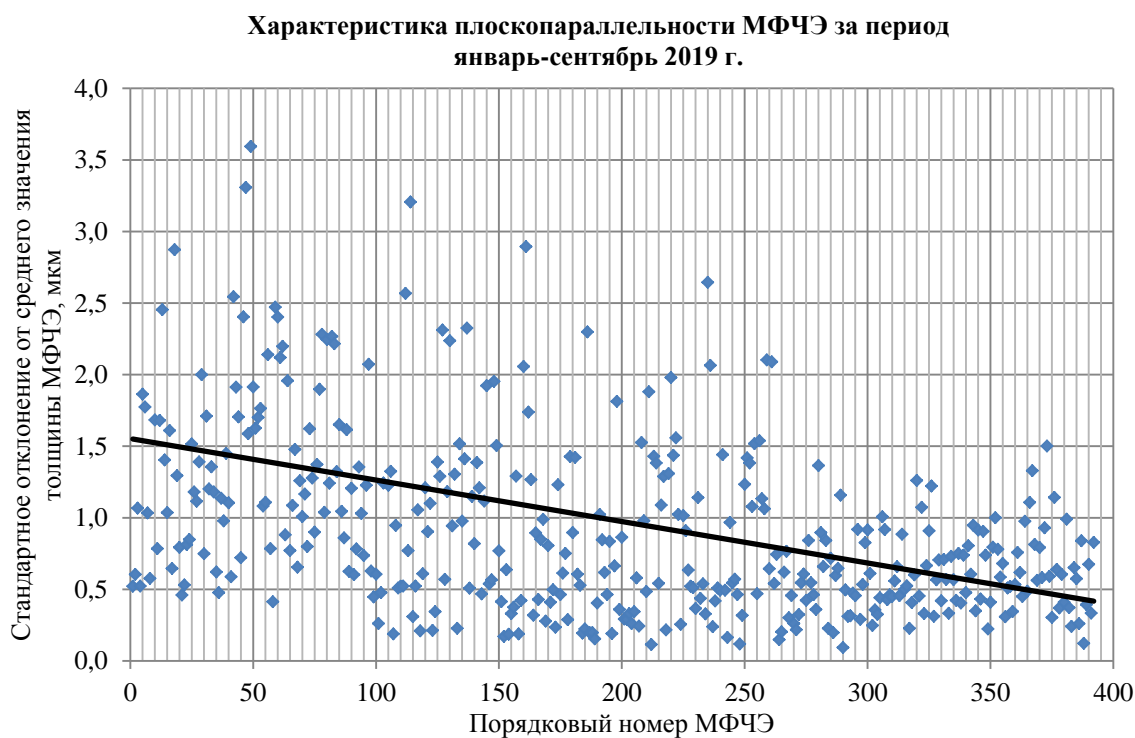


Рис. 4. Стандартное отклонение толщины МФЧЭ от среднего значения.

Заключение

Метод измерения толщины МФЧЭ на основе ИК-спектров отражения позволяет

проводить неразрушающий контроль важного параметра матриц ФЧЭ, определяющий пространственное разрешение МФПУ. Проведенные исследования толщины в течение дли-

тельного промежутка времени большого числа МФЧЭ из антимонида индия, изготовленных методом химико-динамической полировки, показали положительную динамику в сторону улучшения технологии утоньшения матриц ФЧЭ. Улучшились результаты как в части плоскопараллельности матриц, так и в части воспроизводимости заданной толщины 10 ± 2 мкм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Болтарь К. О., Смирнов Д. В., Савостин А. В., Шаронов Ю. П., Киселева Л. В. Патент РФ 2530458 от 13.08.2014.
2. Rogalski A. // Progress in Quantum Electronics. 2012. Vol. 36. P. 342.
3. Балиев Д. Л., Болтарь К. О., Власов П. В., Киселева Л. В., Ложников В. Е., Лопухин А. А., Мансветов Н. Г., Полунеев В. В., Рудневский В. С., Савостин А. В. // Прикладная физика. 2014. № 2. С. 41.
4. Тарасов В. В., Якушенков Ю. Г. Инфракрасные системы «смотрящего» типа. – М.: Логос, 2004.
5. Панфилов Ю. // Технологии в электронной промышленности. 2007. № 3. С. 76.
6. Филачев А. М., Таубкин И. И., Трищенко М. А. Современное состояние и магистральные направления развития твердотельной фотоэлектроники. – М.: Физматкнига, 2011.
7. Киселева Л. В., Савостин А. В. Патент РФ 2536328 от 22.10.2014.
8. Власов П. В., Лопухин А. А., Киселева Л. В., Савостин А. В., Ерошенко В. В., Кожаринова Е. А., Умникова Е. В. Патент РФ 2573714 от 22.12.2015.
9. Davis M., Devitt J., Greiner M., et al. // Proc. of SPIE. 2004. Vol. 5563. P. 63.
10. INSTRUCTION MANUAL USER SYSTEM GUIDE FTIR-8400S, – SHIMADZU CORPORATION, KYOTO, JAPAN, 2003.
11. Ландсберг Г. С. Оптика. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.

PACS: 42.79.Pw, 85.60.Gz, 07.57.Kp, 85.60.Dw

FPA thickness measurements by the IR-spectra reflection method

E. V. Permikina

Orion R&P Association, JSC
9 Kosinskaya st., Moscow, 111538, Russia

Received December 11, 2019

Consideration is given to results of investigation of the FPA thicknesses by the method on basis of the IR reflection spectra. The FPAs have been made from indium antimonide InSb. It is shown that a technology of thinning has been taken a turn for the better. The method of a spectral analysis has been discussed in detail.

Keywords: interference, IR reflection spectrum, MPCA, FPA, indium antimonide.

RERERENCES

1. K. O. Boltar, D. V. Smirnov, A. V. Savostin, et al., RF Patent 2530458.
2. A. Rogalski, Progress in Quantum Electronics **36**, 342 (2012).
3. D. L. Baliev, K. O. Boltar, P. V. Vlasov, et al., Prikl. Fiz., No. 2, 41 (2014).
4. V. V. Tarasov and Yu. G. Yakushenkov, *IR Systems of Looking Type* (Moscow, Logos, 2004) [in Russian].
5. Yu. Panfilov, *Tekhnologii Elektronnoi Promyshlennosti*, No. 3, 76 (2007).
6. A. M. Filachev, I. I. Taubkin, and M. A. Trishenkov, *Modern Status and Magisterial Lines of Development of Solid State Photoelectronics* (Moscow, Fizmatkniга, 2011) [in Russian].
7. L. V. Kiseleva and A. V. Savostin, RF Patent 2536328.
8. P. V. Vlasov, A. A. Lopukhin, L. V. Kiseleva, et al., PF Patent 2573714.
9. M. Davis, J. Devitt, M. Greiner, et al., Proc. of SPIE **5563**, 63 (2004).
10. *INSTRUCTION MANUAL USER SYSTEM GUIDE FTIR-8400S* (SHIMADZU CORPORATION, KYOTO, JAPAN, 2003).
11. G. S. Landsberg, *Optics* (Moscow, Fizmatlit, 2003) [in Russian].